



**Tatiana Machado Lopes Soeiro**

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

## **Avaliação de Risco de Operação em Armazém Robotizado**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia  
e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Maria Celeste  
Rodrigues Jacinto, Professora Auxiliar da Faculdade de  
Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutora Virgínia Helena Arimateia de Campos Machado  
Vogal: Doutora Ana Sofia Leonardo Vilela de Matos  
Vogal: Doutora Maria Celeste Rodrigues Jacinto



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2015

Copyright © em nome de Tatiana Machado Lopes Soeiro, da FCT/UNL e da UNL, “ A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.”

## **AGRADECIMENTOS**

Um agradecimento muito especial à orientadora deste trabalho, a Professora Doutora Celeste Jacinto, pelo seu apoio e disponibilidade.

Agradeço à empresa de acolhimento “a Inapa” pela ajuda e apoio na realização deste estudo, mas o meu especial agradecimento vai para o diretor de logística o Senhor Victor Martins.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a realização de uma análise e avaliação de riscos (AAR) de um armazém robotizado na empresa Inapa, para a qual esta avaliação era sentida como uma necessidade urgente.

Para a realização do estudo foram aplicadas duas ferramentas de análise e avaliação de riscos. A primeira, de “banda larga”, foi a metodologia Análise dos Desvios utilizada para fazer um varrimento geral dos perigos, isto é, abrangendo a vertente de risco ocupacional, mais especificamente os riscos inerentes às tarefas de manutenção, e também a vertente de risco operacional ou seja o risco intrínseco aos equipamentos e instalações. Posteriormente foi aplicado a metodologia FMECA (*Failure Mode and Effects and Criticality Analysis*), para uma análise mais específica ao risco de operação, e deste modo complementar a metodologia de análise dos desvios. Em conjunto com as metodologias Análise dos Desvios e FMECA foi adotada a matriz BS 8800:2004 para a valoração do risco ocupacional, tendo sido desenvolvida intencionalmente uma matriz de risco direcionada para a operação do armazém robotizado na Inapa. A aplicação das duas metodologias revelou-se essencial, para identificação de um maior número de riscos.

Os resultados obtidos permitiram identificar os perigos e situações perigosas que apresentam maior risco para o trabalhador e para a instalação.

Na vertente do risco ocupacional, verificou-se que as situações com risco mais elevado para os operadores, quer em termos de frequência, quer em termos de consequência grave são as paletes partidas por baixo e as deficiências de formação em segurança.

Relativamente ao risco operacional foram identificados diversos riscos considerados como elevados pelas metodologias aplicadas. A consequência mais grave é a paragem total e prolongada do armazém robotizado, que por sua vez está associado a múltiplos fatores de risco. Do ponto de vista geral deste sistema (armazém robotizado) é prioritário implementar um procedimento de registo de avarias e custos.

Como consequência da análise realizada apresentam-se propostas de melhoria de modo a incrementar o desempenho do sistema. Para algumas dessas medidas foi feita uma análise do tipo custo-benefício para verificar se o investimento é excessivamente avultado para o benefício que trazem.

Palavras-chave: Análise e Avaliação de Riscos, Risco Ocupacional, Risco Ocupacional, Armazém Robotizado, Análise dos Desvios, FMECA

## ABSTRACT

The purpose of this study was to carry out an analysis and risk assessment of a robotic warehouse in Inapa, to whom this assessment was urgent.

For this study, two analysis and risk assessment tools were applied. The first one, a "broadband" methodology, consisted on the Deviation Analysis used to make a general sweep of dangers, i.e., on the one hand occupational risks, namely the risks involved in maintenance tasks, and on the other hand the operational risk, thus the intrinsic risk related to equipment and facilities. Subsequently, FMECA methodology (*Failure Mode and Effects and Criticality Analysis*) was applied for a more specific analysis of the risk of operation, and this way complements the deviation analysis methodology. Together with the Deviation Analysis and FMECA methodologies, a BS 8800:2004 matrix was adopted to evaluate the occupational risk, having been intentionally developed a risk matrix for the robotic operationalization of Inapa's warehouse. The application of the two methodologies proved to be essential in the identification of a greater number of risks.

The results obtained allowed to identify the hazards and dangerous situations with higher risk for the worker and for the warehouse.

In terms of occupational risk, it was found that the situations with higher risk for the operators, either in frequency or in terms of major consequence, are the pallets which are broken at the bottom and the deficit in safety training.

As for the operational risk several risks were identified as being high by the methodologies applied. The most severe consequence is the total and prolonged stop of the robotic warehouse, which is associated to multiple risk factors. From the robotized warehouse system general point of view, the implementation of a failures and costs registration procedure is a priority.

As a result of the analysis, some improvement proposals are presented in order to increase the system performance. For some of these measures a very basic cost benefit analysis was made to verify if the investment is too high for the benefit it brings.

Keywords: Analysis and Risk Assessment, Occupational Risk, Operational Risk, Robotic Warehouse, Deviation Analysis, FMECA

## INDICE

<b>Resumo.....</b>	<b>i</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>ii</b>
<b>Capítulo 1- Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento e Âmbito.....	1
1.2 Objetivo.....	1
1.3 Estrutura da Dissertação.....	1
<b>Capítulo 2- Análise a e avaliação do risco.....</b>	<b>3</b>
2.1 Conceitos Chave.....	3
2.2 Barreiras de Segurança.....	4
2.3 Métodos de Análise e Avaliação de Riscos.....	8
2.4 Síntese do capítulo.....	15
<b>Capítulo 3- Metodologias e análises previstas.....</b>	<b>17</b>
3.1 Metodologia Geral.....	17
3.2 Análise dos Desvios.....	18
3.3 Análise FMEA/FMECA.....	21
3.4 Matrizes de Avaliação de Risco.....	25
3.4.1 Matriz para a valoração do risco ocupacional.....	25
3.4.2 Matriz para valoração do risco de operação.....	27
3.5 Síntese do capítulo.....	29
<b>Capítulo 4- Caraterização do armazém.....</b>	<b>30</b>
4.1 Inapa.....	30
4.2 Armazém robotizado.....	32
4.3 Síntese do capítulo.....	38
<b>Capítulo 5- Análise dos Desvios e FMECA. Resultados, Discussão e Recomendações...39</b>	<b>39</b>
5.1 Síntese dos Riscos Ocupacionais.....	39
5.2 Síntese dos Riscos Operacionais.....	44
5.3 Síntese do capítulo.....	52
5.4. Limitações e Contribuições.....	53
<b>Capítulo 6- Conclusões.....</b>	<b>54</b>
<b>Referências.....</b>	<b>56</b>
<b>Legislação e Normas.....</b>	<b>57</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>58</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Modelo análise de energias.....	5
Figura 2.2- Processo simplificado de uma gestão de risco.....	8
Figura 2.3- Classificação das metodologias de análise e avaliação de riscos.....	10
Figura 2.4- Esquema representativo do diagrama “Bow-Tie”.....	13
Figura 2.5- Exemplo de uma FTA do IEC 60300-3-9.....	15
Figura 2.6 Exemplo da técnica Event-tree Analysis.....	15
Figura 3.1- Fluxograma da metodologia de trabalho.....	17
Figura 3.2 – Etapas da análise de desvios.....	19
Figura 3.3 – Procedimento de análise FMECA.....	22
Figura 4.1 Organograma do armazém.....	31
Figura 4.2 Planta do armazém.....	32
Figura 4.3- Fluxogramas dos processos de recção e expedição.....	34
Figura 4.4- Imagem representativa do transelevador.....	35
Figura 4.5- Imagem representativa sistema de transporte constituído por rolos e cadeias.....	37
Figura 4.6- Imagens do armazém robotizado.....	38
Figura 5.1- Passagem do operador de manutenção na cabeceira.....	42
Figura 5.2- Arnês.....	44
Figura 5.3- Quadro eléctrico.....	48
Figura 5.4- Zona de entrada e saída de paletes.....	49
Figura 5.5- Operação de picking.....	49

## INDICE DE TABELAS

Tabela 2.1- Sistema de barreiras e respectivas funções.....	7
Tabela 3.1- Determinação do índice de gravidade.....	23
Tabela 3.2- Determinação do índice de ocorrência.....	23
Tabela 3.3- Determinação do índice de detecção.....	24
Tabela 3.4- Forma simplificada para estimar o risco ocupacional.....	25
Tabela 3.5- Exemplos de danos em função da gravidade.....	25
Tabela 3.6- Exemplos de categorias para a probabilidade de danos.....	26
Tabela 3.7- Critérios de definição de tolerabilidade ao risco.....	26
Tabela 3.8- Plano de controlo de risco.....	27
Tabela 3.9- Forma simplificada para estimar o risco operacional.....	28
Tabela 3.10- Exemplos do impacto da falha em função da gravidade.....	28
Tabela 3.11- Categorias para a frequência do desvio.....	29
Tabela 5.1- Síntese dos riscos ocupacionais.....	39
Tabela 5.2- Orçamento e descrição da colocação de um passadiço de metal na cabeceira.....	42
Tabela 5.3- orçamento e descrição para a colocação de uma divisão tubular.....	43
Tabela 5.4- Síntese do risco operacional; aplicação análise dos desvios.....	45
Tabela 5.5- Síntese dos riscos ocupacionais; aplicação da metodologia FMECA.....	46
Tabela 5.6- Orçamento para colocação de borrachas de proteção.....	50
Tabela A.1- Checklist para análise dos desvios.....	60
Tabela A.2- Análise dos Desvios.....	63
Tabela A.3- Análise FMECA.....	72



## LISTA DE ABREVIATURAS

AAR- Análise e Avaliação de Riscos

ALARP - As Low as Reasonably Practicable

*EPI – Equipamento de Proteção Individual*

ETA- *Event Tree Analysis*

FIFO- *First in First Out*

FMEA- *Failure Mode and effects Analysis*

FMECA- *Failure Mode and Effects and Criticality Analysis*

FSC - *Forest Stewardship Council*

FTA- *Fault Tree Analysis*

HAZOP- *Hazard and Operability Studies*

HSE- *Health and Safety Executive*

HSL- *Health and Safety Laboratory*

IEC- *International Electrotechnical Commission*

ISI- Sistema interno de informação

JSA- *Job Safety Analysis*

NPR- Número de Prioridade de Risco

OSHA – Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho

PEFC - *Programme for the Endorsement of Certification Schemes*

RBD- *Reliability Block diagram*

SST- Segurança e Saúde no Trabalho



## **Capítulo 1 – Introdução**

### **1.1 Enquadramento e Âmbito**

Organizações de todos os tipos e dimensões enfrentam uma série de riscos que podem afetar a realização dos seus objetivos (ISO/IEC/FDIS 31010,2009).

Todas as atividades de uma organização envolvem riscos que devem ser geridos adequadamente. O processo de gestão do risco auxilia na tomada de decisão, tendo em conta a incerteza e a possibilidade de acontecimentos ou circunstâncias futuras (intencional ou não) e os seus efeitos sobre os objetivos (ISO/IEC/FDIS 31010, 2009).

É neste contexto que surge esta dissertação, onde se efetua uma análise e avaliação de riscos no armazém robotizado da empresa Inapa, cobrindo duas vertentes: o risco operacional e o risco ocupacional.

O risco ocupacional compreende o risco relacionado com as condições de trabalho e garantia de segurança e saúde do trabalhador. Em oposição, o risco operacional abrange o risco associado às atividades de exploração da instalação incluindo “dano” material de equipamento e instalações.

O trabalho será efetuado através de dois métodos qualitativos, um deles mais abrangente e de “banda larga” ou seja que inclui a vertente de risco ocupacional e operacional, o método Análise dos Desvios. O outro método utilizado foi a FMECA (*Failure Mode and Effects and Criticality Analysis*), dedicado apenas aos riscos decorrentes de equipamento e instalações (risco operacional).

### **1.2 Objetivo**

Este projeto tem por objetivo principal a realização de uma análise e avaliação de risco (AAR) detalhada e abrangente a um armazém robotizado, na perspetiva da segurança operacional (instalações e equipamentos). Abrange também a segurança e saúde do trabalho (SST) em atividades específicas realizadas no armazém em questão, nomeadamente em tarefas de manutenção.

A decisão de efetuar uma AAR ao armazém robotizado teve como motivação o facto de que caso ocorra uma avaria em um dos robots, não existe forma de retirar o produto aí armazenado. Os corredores têm o tamanho exato para a passagem de apenas o robot, o que impossibilita a entrada de qualquer sistema ou pessoas para retirar o produto requerido. Tal facto resultará na paragem do sistema e consequentemente em perdas económicas para a instituição.

### 1.3 Estrutura da Dissertação

Esta tese está estruturada em seis capítulos, que serão descritos resumidamente a baixo.

No **segundo capítulo** é apresentada uma revisão sumária da literatura orientada para os aspetos mais relevantes. Este encontra-se estruturado em três partes, os conceitos chave, as barreiras de segurança e as metodologias de análise e avaliação de riscos.

No **terceiro capítulo** a autora descreve as metodologias utilizadas neste estudo. Primeiramente é apresentado um fluxograma da metodologia geral do trabalho de forma a explicitar todos os passos adotados ao longo desta dissertação. Posteriormente é descrito o método Análise dos Desvios e as suas cinco fases sugeridas por Harms- Ringdahl. De seguida é caracterizada a metodologia FMECA e todas as fases inerentes à mesma.

Por último são definidas as matrizes para valoração do risco. Para o risco ocupacional foi adotada a matriz de risco da norma BS 8800:2004. Relativamente ao risco operacional, foi desenvolvida pela autora uma matriz de risco direcionada para operação no armazém robotizado.

No **quarto capítulo** é apresentada uma breve caracterização da empresa de acolhimento e da instalação estudada (armazém roborizado).

No **quinto capítulo** são apresentados e discutidos os resultados inerentes à aplicação das duas metodologias, análise de desvios e FMECA, descritos no capítulo 3. Este encontra-se dividido em dois grandes subcapítulos, síntese dos riscos ocupacionais e a síntese dos riscos operacionais.

Por fim no **sexto capítulo** são apresentadas as conclusões mais relevantes do estudo.

## Capítulo 2- Análise e Avaliação do Risco

Neste capítulo será feito um enquadramento teórico do trabalho, onde são apresentados conceitos chave do tema em estudo. Este encontra-se estruturado em três tópicos, sendo estes: Conceitos chave, Barreiras de segurança e Metodologias de análise e avaliação de riscos

### 2.1 Conceitos chave

Neste subcapítulo são apresentadas algumas definições relevantes no âmbito deste trabalho.

O **perigo** é a propriedade intrínseca de uma instalação, atividade ou equipamento, um agente ou outro componente material do trabalho com potencial para provocar dano (Decreto lei nº 102/2009, Art 4º). O conceito **dano** encontra-se associado a esta definição e caracteriza-se como sendo uma lesão física ou dano para saúde, bens ou ambiente (IEC, 1995, citado por Harms- Ringdahl, 2001).

A palavra risco é usada numa grande variedade de contextos e com diferentes sentidos. Em geral, o **risco** pode ser definido como a probabilidade de concretização do dano em função das condições de utilização, exposição ou interação do agente material com o trabalhador, que apresente perigo (Harms-Ringdahl, 2001, p 14; Decreto- lei nº 102/2009, Art. 4).

Segundo *International Electrotechnical Commission* (IEC) (citado por Harms-Ringdahl, 2001) **risco** é então a combinação da frequência, ou a probabilidade de ocorrência, e o grau de gravidade das consequências de um acontecimento perigoso.

Dentro de uma instalação industrial pode-se falar de dois tipos de risco, os riscos ocupacionais e os riscos operacionais. O conceito de **risco ocupacional** abrange as situações de risco relacionadas com as condições de trabalho e com a garantia da segurança e saúde do trabalhador, enquanto indivíduo. Em contraste o conceito de **risco operacional**, ou risco de operação, é aqui entendido como o risco associado às atividades de exploração da instalação e abrange o “dano” material, em termos económicos de equipamento e/ou paragem da atividade operacional. Este trabalho é mais focado para o risco operacional do armazém robotizado, mas também tem em conta o risco ocupacional, como as atividades manutenção realizadas diariamente.

Um conceito importante para este estudo é **análise de Riscos**, embora não tenha nenhuma definição normalizada, pode ser entendido como um processo pormenorizado e estruturado que identifica sequencialmente, os perigos e riscos associados a um dado produto ou sistema. (Harms- Ringdahl, 2001 p.15)

**Avaliação de risco** é um processo global de estimativa da grandeza do risco e de decisão sobre a sua aceitabilidade (NP 4397:2008 p.10).

Por outro lado, **gestão de risco** é o conjunto das atividades anteriores, análise de riscos e avaliação de riscos, que culmina no processo de decisão sobre aceitabilidade do risco. **Risco aceitável** é então definido como o risco que foi reduzido a um nível que possa ser tolerado pela organização, tomando em atenção as suas obrigações legais e a sua própria política de segurança e saúde no trabalho (OSHAS 18001:2007 p.2).

Como já referido, o presente trabalho também irá abordar o risco ocupacional, portanto torna-se importante mencionar os conceitos como segurança e saúde no trabalho e acidente de trabalho.

Segundo NP 4397:2008, **Segurança e Saúde no Trabalho (SST)** define-se pelo conjunto das intervenções que objetivam o controlo dos riscos profissionais e a promoção da segurança e saúde dos trabalhadores da organização ou outros (incluído trabalhadores temporários, prestadores de serviços e trabalhadores por conta própria), visitantes ou qualquer outro indivíduo que se encontre no local de trabalho. Neste contexto, entende-se por **local de trabalho** todo e qualquer local físico no qual são realizadas atividades relacionadas com o trabalho sob o controlo da organização.

Finalmente, no âmbito da SST é fundamental a definição de **acidente de trabalho** o sinistro, entendido como acontecimento súbito imprevisto, sofrido pelo trabalhador que se verifique no local e no tempo de trabalho.

## **2.2 Barreiras de segurança**

Segundo Sklet (2006) não existe na literatura uma definição única para barreiras de segurança; todavia diferentes aspetos do termo têm vindo a ser discutidos e aplicados na prática há várias décadas. Diferentes termos com significados similares (barreira, defesa, nível de proteção, elemento crítico de segurança, função de segurança etc) têm sido usados transversalmente entre indústrias, setores e países.

O conceito de barreira de segurança tem por base um modelo de análise de acidentes chamado de análise de energias. O modelo **análise de energias** foi proposto pela primeira vez por Gibson por volta dos anos 1960, e mais tarde o mesmo modelo foi desenvolvido por Haddon em 1980, em que apresentou dez estratégias de prevenção de acidente (Sklet, 2006).

O princípio base da análise de energias consiste em separar os perigos (fontes de energia) dos sinistrados (alvos vulneráveis) por barreiras de segurança. Se uma pessoa ou um objeto entra em contacto com uma energia prejudicial, significa que as barreiras de segurança não estão a proporcionar proteção suficiente. Uma energia é algo que pode prejudicar uma pessoa fisicamente ou quimicamente em conexão com um determinado acontecimento (Haddon, 1980 citado por Sklet, 2006 ; Harms-Ringdahl, 2001).

Assim sendo, as barreiras podem então ser consideradas como uma obstrução para prevenir o acidente. Caso não seja possível prevenir, tentar minimizar o impacto das consequências através da proteção das pessoas, património e ambiente.

Sklet (2006) define **barreiras de segurança** como sendo meios físicos e/ou não físicos planeados para prevenir, controlar ou mitigar os acontecimentos indesejados ou acidentes.

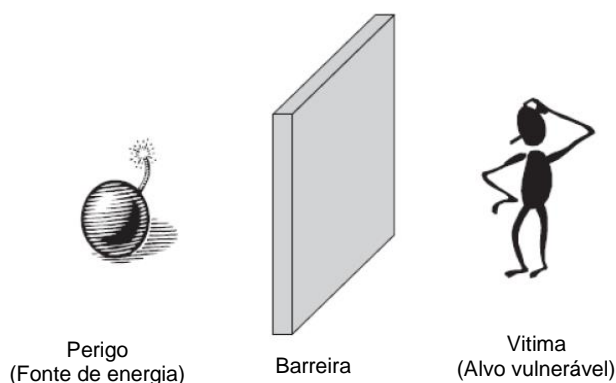


Fig. 2.1. Modelo análise de energias (adaptado de Hasson, 1980 citado por Sklet, 2006 p. 495)

Como referido por Svenson (1991) é importante usar uma terminologia mais precisa em particular para fazer a distinção entre o que as barreiras “fazem”, isto é, a sua finalidade ou função e o que estas “são” ou seja de que forma atingem o seu objetivo. A primeira é chamada de **função de barreira** que consiste numa função planeada para prevenir, controlar ou mitigar acontecimentos indesejáveis ou acidentes. A segunda é chamada de sistema de barreiras (Sklet 2006, Hollnagel, 2008). Se uma função da barreira é realizada com o sucesso, terá um efeito direto e significativo sobre a ocorrência e/ou consequências de um acontecimento indesejável ou acidente (Sklet , 2006).

Hollnagel (2004) descreve apenas duas funções principais para barreiras de segurança; prevenção e proteção sendo que controlo e mitigação se enquadram na função proteção.

As barreiras que têm a finalidade de funcionar antes de um acontecimento específico ter lugar, servem como um meio de prevenção, cujo objetivo é garantir que o acidente não aconteça ou caso não seja possível, abrandar o seu desenvolvimento. As barreiras que atuam depois de um acontecimento específico ter ocorrido, servem como meio de proteção e têm o objetivo de proteger o meio ambiente e as pessoas, assim como o próprio sistema, das consequências do acidente.

**Sistemas de barreiras** é definido por Sklet (2006 p. 496) como sendo um sistema que foi concebido e implementado para realizar uma ou mais funções de barreiras.

Um sistema de barreira descreve como uma função de barreira é executada. Se o sistema de barreira está a funcionar, a função de barreira atinge o objetivo. Um sistema de barreira pode ter várias funções de barreira (Sklet, 2006).

Um sistema de barreira pode ser constituído em diferentes tipos de elementos, físicos e técnicos, atividades operacionais executadas por humanos ou a combinação dos dois. Diversos autores classificam de diferentes maneiras o sistema de barreiras (Hollnagel, 2008; Sklet, 2006).

Hollnagel (2008) caracteriza os sistema de barreiras em quatro tipos possíveis: 1) sistema de barreiras físicas ou materiais, 2) sistema de barreiras funcionais, 3) sistema de barreira simbólica, 4) sistema de barreira incorpóreo.

A tabela 2.1 apresenta uma síntese destes conceitos, dando também exemplos de cada tipo.

É essencial que as barreiras cumpram o seu propósito; por isso existe um conjunto de condições que devem ser cumpridas. Segundo Hollnagel (1995) (citado por Sklet 2006) esse conjunto é constituído por sete critérios, sendo estes:

- Eficiência ou adequação: quão eficiente a barreira deverá ser para alcançar o seu objetivo;
- Recursos necessários: os recursos necessários para implementar e manter a barreira, em vez de os recursos necessários para usá-la;
- Robustez (confiabilidade): quão confiável e resistente a barreira é, ou seja, o quão bem ele pode suportar a variabilidade do ambiente;
- Atraso na execução: o tempo desde da conceção até a implementação da barreira
- Aplicabilidade às tarefas críticas de segurança: o uso em tarefas de segurança.
- Disponibilidade: se a barreira consegue cumprir seu propósito quando necessário;
- Avaliação: para determinar se uma barreira funciona como esperado e para garantir que está disponível quando necessária.



Tabela 2.1 Sistema de barreiras e respectivas funções (Adaptado de Hollnagel, 2008, p. 226)

Sistema de Barreira	Função de barreira	Exemplos
<b>Físicas</b>  Geralmente são incorporadas na fase de Design. Previnem fisicamente que um acontecimento inesperado ocorra ou atenua os seus efeitos. Bloqueia o transporte de massa, energia ou informação de um lado para o outro.	Conter ou proteger	Paredes, Portas, Edifícios, acessos físicos restritos, filtros, grades, cercas.
	Restringir ou impedir o movimento ou transporte de massa ou energia	Cintos de segurança, arneses, cercas, distância espacial
	Manter junto. Coesão, resistência	Componentes que não quebram facilmente
<b>Funcional</b>  Criam um ou mais pré-requisitos que devem ser cumpridos antes que ação ocorra. Ex: através de um bloqueio. Pode nem ser sempre visível ou perceptível para o operador, embora a sua presença seja geralmente indicada de alguma maneira.	Prevenir o movimento ou ação (mecânica)	Bloqueio físico, equipamentos de alinhamento, Fechadura.
	Prevenir o movimento ou ação (lógico)	Sequência de ação, correspondência fisiológica, palavras-chave
	Dificultar ou impedir ações	Distância, sincronização, persistência, atrasos
	Amortecer, atenuar	Redução do ruído, suspensão ativa para vibrações
	Dissipar a energia, extinguir.	Extintores, airbags
<b>Simbólica</b>  Exige um ato de interpretação por parte de alguém, a fim de atingir a sua finalidade. Requer a compreensão de um humano para que este possa reagir ou responder à barreira. Os sistemas de barreiras simbólicas são omnipresentes na sociedade e estamos permanentemente cercados por uma variedade de sinais visuais e auditivos.	Contador, prevenir ou impedir ações (visual, design de interface tátil).	Codificação de funções, desmarcações, etiquetas e avisos.
	Ações reguladas	Instruções de trabalho, procedimentos, diálogos
	Indicar status ou condição do sistema (sinais e símbolos)	Sinais (visuais, sonoros), avisos, alarmes.
	Permissão ou autorização	Ordem de trabalho, autorização de trabalho
	Comunicação, dependência	Aprovação, clareza
<b>Incorpórea</b>  Não estão fisicamente presentes nas situações em que são aplicadas, dependem do conhecimento do operador para atingir os seus objetivos. Em contextos industriais, as barreiras incorpóreas são um sinónimo de barreiras organizacionais, ou seja, as regras são impostas pela organização, em vez de estarem presentes no sistema fisicamente, funcionalmente ou simbolicamente	Cumprir em conformidade com...	Normas éticas, morais, sociais
	Prescrição: regras, leis, proibições	Regras, restrições, leis

### 2.3 Métodos de Análise e Avaliação de Riscos

Nas últimas décadas, tem vindo a crescer o interesse público na área de análise e avaliação de riscos. A análise de risco tem emergido como um procedimento eficaz e abrangente, que complementa a gestão global de quase todos os aspetos da nossa vida. As adaptações da análise de riscos por muitas disciplinas juntamente com a sua implementação na indústria e instituições governamentais, levaram a um desenvolvimento sem precedentes da teoria, metodologia e ferramentas práticas (Marhavilas et al, 2011).

Uma Análise e Avaliação de Riscos (AAR) identifica a natureza e a dimensão do perigo e o seu impacto sobre o negócio, consumidores e colaboradores. Portanto, constitui um instrumento essencial para a política de segurança de uma empresa (Freija et al, 2008; Marhavilas et al 2011).

A avaliação do risco é muitas vezes descrita como um processo que consiste em três fases distintas: identificação dos riscos ou perigos, análise do risco e a valoração do risco.

Após realizada a AAR, esta irá servir como suporte para o processo de tomada de decisão sobre as medidas de controlo do risco.

A sequência completa é ilustrada na figura 2.2.

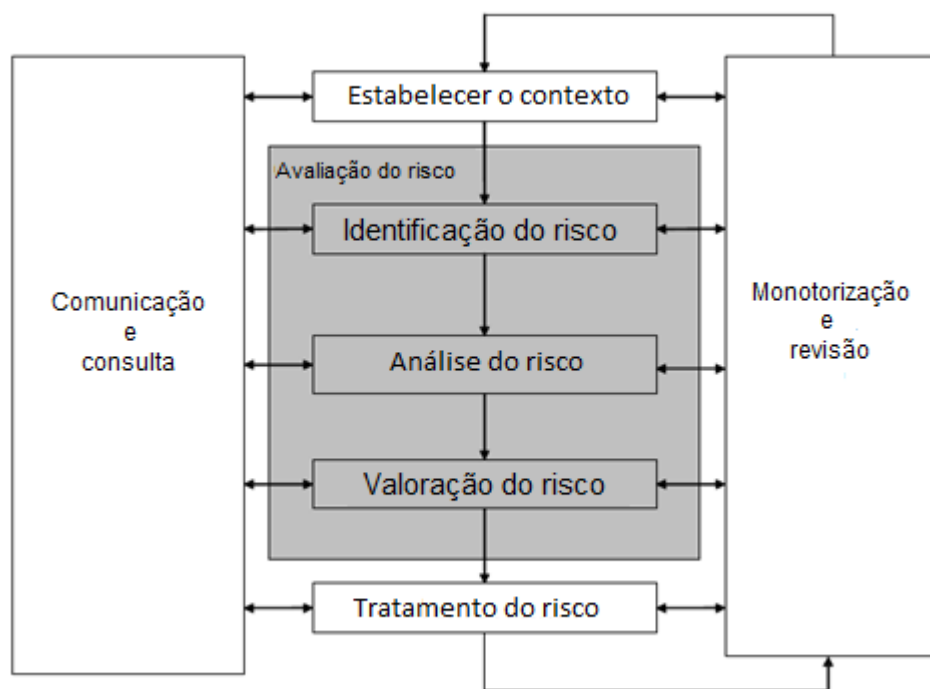


Fig. 2.2 Processo simplificado de uma gestão de riscos (adaptado de ISO 31000,2009 p.14)

## **Identificação dos riscos**

A identificação dos riscos é o processo de encontrar, reconhecer e registrar riscos. O propósito da identificação do risco é identificar o que pode acontecer ou que situações podem existir que possam afetar a realização dos objetivos da organização.

Este processo inclui a identificação das causas e as fontes de risco dos acontecimentos, situações ou circunstâncias que podem ter um impacto material, ambiental ou humano.

## **Análise do risco**

A análise do risco envolve uma compreensão profunda do sistema e do risco. Esta fornece um *input* na tomada de decisão da necessidade de tratamento dos riscos e das estratégias e métodos mais adequados para o tratamento desses mesmos riscos (ISO/IEC/FDIS 31010, 2009; ISO 31000, 2009).

A análise do risco tem em consideração as causas, as fontes de risco, as suas consequências positivas e negativas e a probabilidade dessas consequências ocorrerem. Os fatores que afetam as consequências e a probabilidade devem ser identificados. Um acontecimento pode ter várias consequências e pode afetar múltiplos objetivos (ISO/IEC/FDIS 31010, 2009).

## **Avaliação do risco**

A finalidade da avaliação do risco é auxiliar a tomada de decisão, com base nos resultados obtidos na análise de risco.

Na fase de avaliação do risco é identificado quais os riscos que necessitam de tratamento e a prioridade de implementação desses tratamentos (ISO 31000, 2009).

Para reforçar, a tomada de decisão inclui (ISO/IEC/FDIS 31010, 2009):

- Se o risco necessita de tratamento
- Prioridades de tratamento
- Se uma atividade deve ser realizada
- Qual o número de caminhos que deve ser seguido

A natureza das decisões que precisam ser feitas e os critérios que serão utilizados para tomar essas decisões foram determinados ao estabelecer o contexto do problema (ISO 31000, 2009).

Em algumas circunstâncias, a avaliação de risco pode levar à decisão de proceder a uma análise mais aprofundada. A avaliação do risco pode também ser influenciada pela atitude da organização e os critérios de risco que foram estabelecidos (ISO 31000, 2009).

Existem diversas abordagens para classificar as metodologias de análise e avaliação de risco. Podendo ser classificadas consoante a sua função, abrangência, modo de funcionamento etc.

Segundo Norma ISO 31010 os métodos de análise e avaliação de riscos são classificadas em três categorias: técnicas qualitativas, técnicas quantitativas e técnicas híbridas ou semi-quantitativas. As técnicas qualitativas são baseadas essencialmente em observação do local em estudo, esta técnica obtém informação através de entrevistas, documentação, visitas ao local. Avaliação qualitativa define gravidade, probabilidade e o nível de risco por níveis de significância como “alto”, “médio” e “baixo”; os resultados obtidos tem alguma subjetividade pois dependem grandemente da experiência do analista. Nas técnicas quantitativas, o risco pode ser considerado como uma quantidade, que pode ser estimado, usando documentação de acidentes já ocorridos, e expresso através de uma relação matemática. Segundo Marhaviis et al as técnicas híbridas como a palavra diz é junção das duas técnicas anteriores, estas apresentam uma grande complexidade pois permitem um alargamento da cobertura. No entanto de acordo a norma ISO 31010 as técnicas semi-quantitativas utilizam escalas de avaliação numérica para a gravidade e probabilidade, que combinadas produzem uma formula para avaliar o nível de risco. As escalas podem ser lineares algorítmicas ou terem qualquer outra relação. (ISO/IEC/FDIS 31010, 2009; Marhaviis et al, 2011).

É necessário realçar que a diversidade de procedimentos de análise e avaliação de risco é tal que existem muitas técnicas apropriadas para qualquer circunstância. A organização deve aplicar as ferramentas e técnicas de análise e avaliação de risco de acordo com as suas capacidades, objetivos e o tipo de riscos que enfrenta. (ISO/IEC/FDIS 31010, 2009; Marhaviis et al, 2011).

Portanto, será feito uma pequena revisão de apenas alguns métodos que foram considerados mais relevantes, especialmente aqueles que são frequentemente descritos na literatura e/ou aplicados no dia-a-dia por muitas empresa.

A figura 2.3 identifica os métodos escolhidos pela autora desta dissertação para efeitos de revisão.

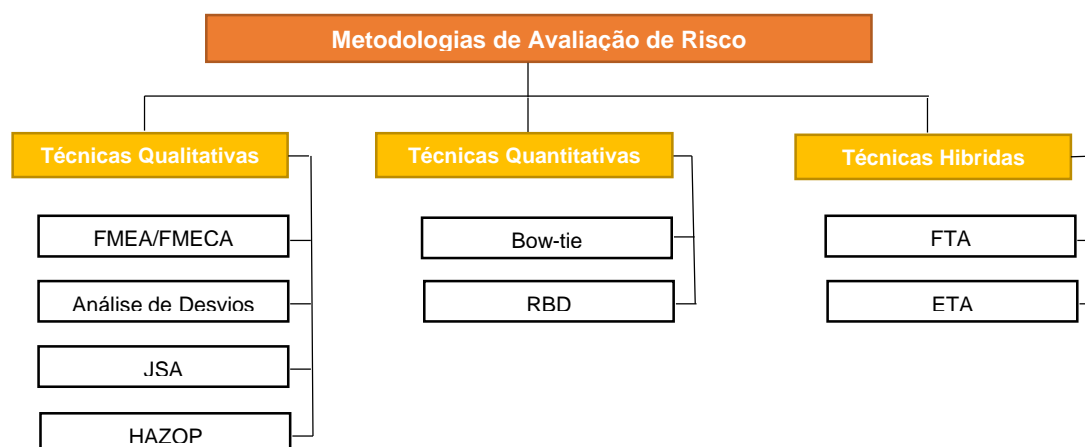


Fig. 2.3 Classificação das metodologias de análise e avaliação de riscos (inspirado Marhaviis et al, 2011)

Começando pelos métodos qualitativos, **FMEA (*failure mode and effects analysis*)** foi desenvolvida por engenheiros especializados em fiabilidade para lhes permitir prever a fiabilidade de produtos complexos. Teve destaque no início dos anos 60 na indústria aeroespacial como sistema de controlo de voo, posteriormente foi alargado para a área química e muitos sectores industriais (Hammer, 1989; Villemeur, 1992).

É um método de análise qualitativa e indutiva, usada para determinar quanto tempo uma peça de um equipamento complexo vai operar de modo satisfatório e quais os efeitos resultantes de um modo de falha de um componente individual (Hammer, 1989).

Esta técnica visa assegurar que todos os potenciais modos de falha, bem como os respetivos efeitos e causas, sejam identificados e analisados.

**Failure Mode and Effects and Criticality Analysis (FMECA)** aparece como uma extensão da FMEA com foco nos parâmetros quantitativos para a criticidade atribuído a cada potencial modo de falha. Essa classificação é dada por três fatores: a gravidade do efeito da falha (G), a probabilidade de ocorrência do modo de falha (O) e a probabilidade da falha ser detetada (D) (Kumamoto e Henley, 1996).

É um método importante para determinar onde os componentes devem ser melhorados para aumentar a vida útil de um produto ou sistema.

Assim sendo, é uma ótima ferramenta para determinar pontos que podem ser aperfeiçoados e para melhorar e controlar a qualidade do produto (Hammer, 1989).

Tem como desvantagens ser um método que consome muito tempo e assim ser difícil de aplicar a sistemas muito complexos; como também não tem em conta os problemas que possam surgir a partir de erros do operador, ou características perigosas de equipamentos criados por má conceção (Hammer, 1989; ISO/IEC/FDIS 31010, 2009).

A técnica **análise de desvios** foi introduzida na Suécia por Urban Kjellén e colaboradores no final dos anos 70, tendo como objetivo a investigação ocupacional de acidentes. Em 1981 surge a primeira descrição em inglês publicada por Kjellén e Larsson. Posteriormente o modelo foi adaptado por Harms- Ringdahl (2001) para se adequar como uma ferramenta de análise e avaliação de risco ocupacional.

Este método tem como objetivo identificar os perigos como sendo possíveis desvios, em relação ao processo de trabalho “normal ou previsto “. Os desvios são identificados por uma checklist própria, dividida em três grupos fundamentais, funções técnicas, funções humanas e funções organizacionais. Posteriormente são analisados os riscos associados a cada desvio identificado. Para avaliação do risco, o método em si não determina que tipo de avaliação deve ser realizada, sendo necessário uma ferramenta adicional como por exemplo uma matriz de avaliação de risco.

Tem como vantagem ser um método de fácil aplicação e apropriado para riscos ocupacionais e operacionais. Como desvantagem este pode falhar na identificação de alguns perigos, especialmente em sistemas muito complexos.

Uma vez que, os dois métodos a cima referidos foram os escolhidos para realização do presente estudo, estes serão explicados com maior detalhe no terceiro capítulo (Metodologia).

De acordo com Kletz (2001), **Hazard and Operability Studies (HAZOP)** foi desenvolvido pela divisão ICI Petrochemicals em 1963 e é especialmente indicado para a indústria química. Para execução de uma análise HAZOP é necessário a constituição de uma equipa multidisciplinar. O seu principal objetivo consiste em uma busca sistemática, usando “palavras guia”, para identificar desvios que podem ter consequências indesejáveis. No final, o analista estabelece recomendações para reduzir a frequência e/ou as consequências dos desvios. (Harms- Ringdahl, 2001, p. 107, ISO/IEC/FDIS 31010:2009, Marhaviolas et al, 2011).

Os elementos característicos de uma análise HAZOP são:

**Intenção:** a intenção define como é previsto aquela parte da instalação estar a funcionar (Harms -Ringdahl, 2001, 2013).

**Desvio:** identificação dos possíveis desvios do funcionamento previsto/planeado que possa levar a situações perigosas.

**Palavras guia:** são utilizadas para guiar a pesquisa e identificar os diversos desvios. Alguns exemplos de palavras guia, frequentemente, utilizada são: muito cedo, muito tarde, muito longo, muito curto, direção errada, objeto errado etc (ISO/IEC/FDIS 31010: 2009).

**Equipa:** Como já referido a análise é executada por equipa composta por especialistas de diferentes áreas (Harms-Ringdahl, 2001, 2013).

O método HAZOP pode ser aplicado em qualquer sistema ou processo, contudo é de difícil aplicação e acarreta elevados custos (IEC/FDIS 31010:2209, Marhaviolas et al, 2011).

Segundo Harms- Ringdahl o método **Job Safety Analysis (JSA)**, teve visibilidade em 1947 por Grimaldi. O JSA foca-se essencialmente nas tarefas de trabalho realizadas por uma pessoa ou grupo de pessoas. Esta abordagem consiste em discriminar as tarefas de trabalho por fases e identificar os diferentes perigos inerentes às mesmas. Analogamente à análise de desvios, após identificados todos perigos, estes são analisados e avaliados e propostas medidas de ação. A sua vantagem é ser um método de fácil aplicação, sendo mais apropriado quando as tarefas são bem definidas (Harms-Ringdahl, 2013).

Passando para os métodos quantitativos, o modelo original “**Bow-tie**” foi desenvolvido por volta do ano 2000 para aplicação em indústrias de alta tecnologia, nomeadamente para plataformas de extração petrolífera. Tem como objetivo uma avaliação de riscos probabilística de acidentes industriais graves. No entanto, como acontece com muitas outras técnicas de avaliação, o seu uso alastrou-se rapidamente para o campo da segurança no trabalho (Jacinto e Silva, 2010).

O “Bow-Tie” original consiste na combinação dos métodos Fault Tree Analysis e *Event Tree Analysis* (que serão explicados mais à frente) (Khakzad et al, 2012). Esta é uma ferramenta gráfica e probabilística que se inicia com o cenário de acidente como centro do diagrama. À esquerda do acontecimento crítico são identificadas as causas que levaram a esse acontecimento, existindo entre os dois barreiras de segurança (barreiras de prevenção) que

exercem ação sobre a frequência do acontecimento crítico. O ramo direito corresponde às possíveis consequências do acontecimento crítico, onde também existe barreiras de segurança, mas neste caso, barreiras de proteção que exercem ação sobre a gravidade das consequências.

Para um melhor percepção do procedimento “bow-tie”, é representado na figura 2.3 o seu respetivo diagrama.

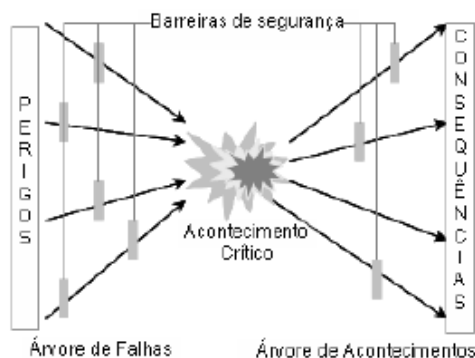


Fig. 2.4 Esquema representativo do diagrama “Bow-Tie” (Dinous e Fiévez, 2006 p.221; traduzido por Silva, 2008)

O “Bow-Tie” é uma ferramenta muito popular porque representa do cenário acidente, incluindo completamente as causas e suas consequências, como também obriga o analista a diferenciar claramente entre barreiras de proteção e prevenção; esta característica é de grande valor para o apoio da tomada de decisão, uma vez que ajuda a priorizar medidas de segurança. No entanto, trata-se de uma estrutura muito estática limitando a sua aplicação em tempo real (Jacinto e Silva, 2010; Khakzad et al, 2012).

Quanto ao **Reliability Block Diagram (RBD)**, é uma técnica que consiste numa representação gráfica da fiabilidade de um processo. É um método utilizado para indicar quais os componentes necessários para o processo funcionar. É aplicado principalmente em sistemas reparáveis, e onde a ordem de falha não importa (HSE-HSL, 2005).

Para esta técnica presume-se que existem apenas dois estados possíveis para cada componente, “funcionar” ou falhar”. Para aplicar com sucesso este método é necessário descrever em detalhe o funcionamento do processo ou sistema (HSE-HSL, 2005).

O procedimento da técnica RBD inicia com a divisão do sistema em blocos. Cada bloco deve ser, se possível, independente dos outros blocos e não conter qualquer redundância. A definição do sistema é então utilizada para organizar o diagrama de blocos, onde a saída de um bloco é usada como entrada para o próximo. Quando os componentes estão associados em “série” e não houver nenhuma redundância presente, o diagrama de blocos de fiabilidade desenhado, será linear indicando que uma falha em qualquer um dos blocos irá fazer com que todo o processo falhe. Por outro lado, se a redundância está presente dentro do processo, significa que os blocos se encontram em “paralelo”, o que indica que com a falha de um desses blocos ainda existe um caminho disponível para que o sistema funcione (HSE-HSL, 2005).

Tem como vantagem ser uma técnica capaz de identificar onde a redundância é necessária para aumentar a segurança, e como desvantagem ser um método limitado a investigar a fiabilidade

dos componentes. Não pode ser facilmente aplicado para identificar riscos que não estão associados à fiabilidade (HSE-HSL, 2005).

Como já referido e na opinião de Marhavilas et al (2011), da junção das técnicas quantitativas e qualitativas obtêm-se as técnicas híbridos ou semi- quantitativas, como exemplos desta técnica tem-se as metodologia *Fault tree Analysis (FTA)* e *Event tree Analysis (ETA)*.

Note-se que esta classificação de “ híbridos” é dada por Marhavilas et al (2011). Ambas as técnicas foram concebidas para aplicação probabilística (quantitativa). O que acontece com frequência é que muitos analistas se limitam a usar os respetivos diagramas como ferramenta para “ilustrar” as causas do acidente (FTA) ou os cenários de acidente possíveis (FTA). Quando a utilização da técnica se limita aos diagramas, para “ explicar” os mecanismos do acidente, pode considerar-se que se trata de uma aplicação qualitativa.

Assim sendo, a técnica ***Fault-tree Analysis (FTA)*** foi desenvolvido nos anos 60 pela *Bell telephone Laboratories* para dar resposta a uma necessidade da Força Aérea, melhorar a segurança e fiabilidade em sistemas de mísseis (Hammer, 1989).

Tem uma abordagem dedutiva, isto é, parte de um acontecimento topo, um acidente ou um acontecimento indesejado. Tem como objetivo determinar os acontecimentos causais que lhe deram origem, e a relações lógicas entre eles. Para isso utiliza símbolos lógicos “E” / “OU” da álgebra Boleana.

Os fatores identificados na árvore podem ser acontecimentos que estão associados a falhas de componentes de *hardware*, erro humano ou qualquer outro acontecimento pertinente que culmine num acidente (ISOIEC/FDIS 31010,2009).

É um método muito útil em setores de alto risco com sistemas técnicos muito complexos, em que os acidentes podem ter consequências graves. Contudo, é um método bastante difícil de aplicar, geralmente utilizado por especialistas, sobretudo em aplicações quantitativas (Harms-Ringdahl, 2013; Ferry, 1988).

Na figura 2.5 é ilustrado um exemplo da aplicação da técnica *Fault-tree Analysis*.

No que respeita à técnica ***Event tree Analysis (ETA)*** teve a primeira aplicação em 1972 para avaliar riscos em centrais de energia nuclear. Funciona de maneira oposta à árvore de falhas ou seja tem uma abordagem indutiva, parte de um acontecimento elementar e avança até aos possíveis cenários de acidente.

O resultado é uma representação gráfica (árvore) de um modelo lógico que identifica e quantifica os possíveis resultados de um acontecimento inicial (Marhavilas et al, 2011).

Tem como vantagem poder ser utilizada para diversas aplicações como: design, construção, diferentes estágios de operações, alteração de operações, análise de acidentes já ocorridos etc. Como desvantagem é um método que consome muito tempo e de difícil aplicação (Marhavilas et al, 2011).

Na figura 2.6 é apresentado um exemplo da técnica ETA.



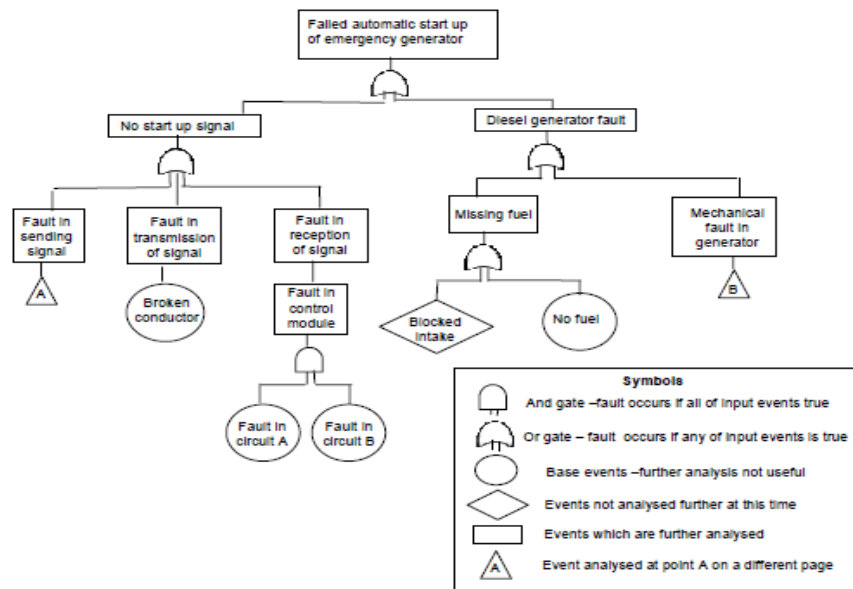


Fig.2.5 Exemplo de uma FTA do IEC 60300-3-9 (citado por IEC/FDIS 31010)

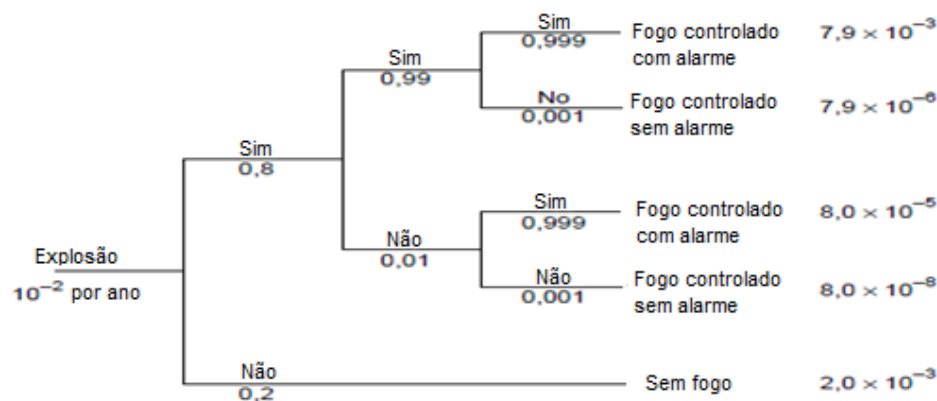


Fig. 2.6 Exemplo da técnica *Event-tree Analysis*

Embora tenha sido feita uma pesquisa específica não se encontraram estudos publicados relativos à segurança em instalações de armazéns robotizados. Para esta pesquisa foram utilizadas as seguintes palavras-chave: “robotic process”, “automated warehouse” e “working with machines” associados com as palavras “risk” e “safety”. Sobre processos robotizados a autora não encontrou estudos relevantes. Relativamente ao termo “machines” (com “safety” ou “risk”) aparecem imensas referências, mas todas associadas ao risco ocupacional; Não se encontrou nada de específico sobre risco de operação e exploração de instalações.

## 2.4 Síntese do Capítulo

Para realizar uma análise e avaliação de riscos (ARR) é necessário conhecer algumas definições fundamentais, tais como, “perigo”, “risco”, “risco operacional”, “risco ocupacional” e “análise e avaliação de riscos”. Contudo também é importante referir os conceitos de “segurança e saúde no trabalho” e “acidente de trabalho”.

Neste capítulo é dado destaque à definição de barreiras de segurança, onde é feita a distinção entre função de barreira e sistemas de barreiras. Este último pode ser de quatro tipos possíveis: sistema barreiras físicas ou materiais, funcionais, simbólicas e incorpóreas.

Fez-se uma pequena revisão de algumas métodos de análise e avaliação de riscos classificados como “qualitativos”, “quantitativos” e “híbridos”, que foram considerados mais relevantes isto é aquelas que mais frequentemente são descritas na literatura e/ou mais aplicados pelas empresas.

## Capítulo 3- Metodologias e análises previstas

Este capítulo tem como objetivo a descrição detalhada dos métodos que serão usados no decorrer deste estudo, descrevendo o modo de funcionamento e todos os critérios que estão agregados aos mesmos.

### 3.1 Metodologia Geral

A presente dissertação tem como base uma metodologia de trabalho estruturada através de 6 passos, ilustrados no fluxograma seguinte.

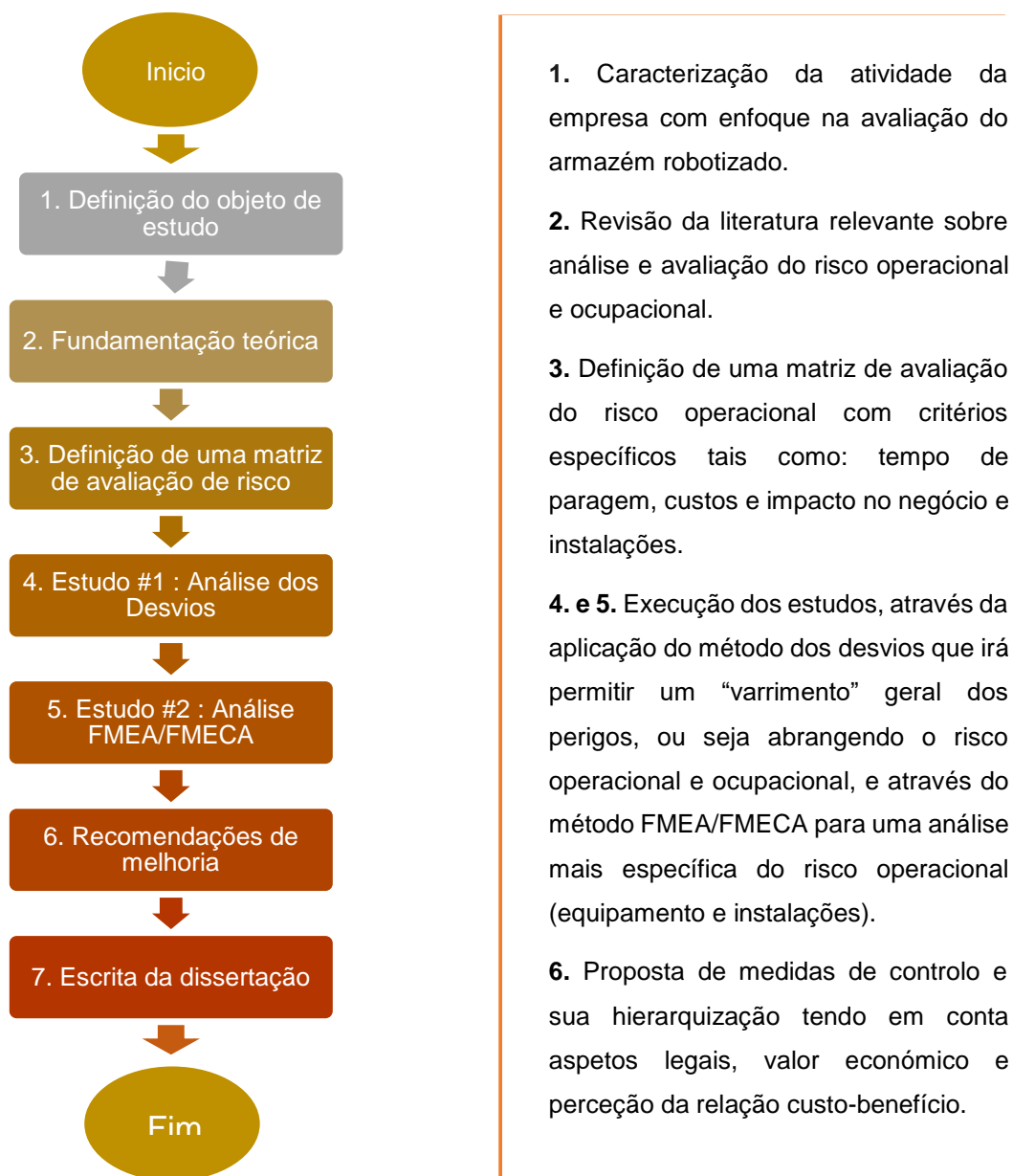


Fig. 3.1 Fluxograma da metodologia de trabalho

### **3.2 Análise dos desvios**

A escolha deste método deve-se ao fato de ser uma metodologia de “banda larga”, e como tal muito útil para uma análise preliminar. Este irá permitir um varrimento dos perigos mais relevantes nas duas vertentes ou seja em termos de risco operacional e ocupacional.

Como já referido anteriormente esta abordagem foi introduzida por Urban Kjelén, tendo como objetivo a investigação de acidentes de trabalho. Posteriormente o modelo foi adaptado por Harms Ringdahl para se adequar como uma ferramenta de análise de riscos.

No presente estudo será aplicada a versão adaptada por Harms Ringdahl (2001, 2013), tal como descrito nos livros deste autor.

O princípio subjacente ao método é que os sistemas nem sempre funcionam como planeado. Existem distúrbios na produção, avarias nos equipamentos e pessoas a cometerem erros; estes são considerados desvios à “norma” estabelecida.

Segundo Harms Ringdahl um desvio é um acontecimento ou estado que diverge da função correta, planeada ou habitual; esta função pode ser um processo, uma função técnica, ou uma atividade humana.

É importante referir que um desvio do curso normal previsto pode constituir ou introduzir perigos. Nem sempre um desvio constitui um perigo mas pode contribuir indiretamente para ele. As consequências vão ser de diferentes níveis e tanto podem levar diretamente ao acidente, como contribuir para o aumento do risco, ou até mesmo não ter qualquer consequência

Nem sempre um desvio é um acontecimento negativo; por vezes acontecem “desvios positivos” ou seja, acontecimentos ou ações humanas que contrariam as normas estabelecidas, mas aumentam as condições de segurança. Acontece, por exemplo, quando o método de trabalho proposto é inadequado e o trabalhador o ignora, criando um procedimento mais seguro para si.

A análise de desvios pode ser usada de duas formas diferentes, consoante a aplicação e objetivo da análise. A primeira é para executar uma análise de risco a um sistema, partindo das propriedades e funções do sistema que vai ser analisado. A segunda aplicação é para investigar um acidente já ocorrido e analisar as suas causas, ou seja, para identificar os desvios que levaram ao acidente ou acontecimento crítico.

## Procedimento

A **análise de desvios** tem quatro fases principais, envolvendo também a preparação. A figura abaixo representa as fases deste procedimento

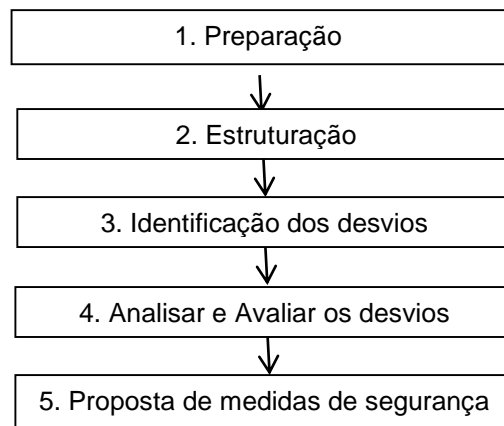


Fig. 3.2 Etapas da análise de desvios (Harms-Ringdahl, 2013, p. 127)

### 1. Preparação

Antes de começar a análise concreta, necessitam se ser feitos o planeamento e a preparação. Durante a preparação é necessário considerar certas questões como:

- Especificação das partes do sistema que vão ser cobertas pela análise
- Estimar que recursos serão necessários, nomeadamente a necessidade de apoio dos colaboradores da organização, o número de horas de trabalho e o tempo necessário para toda a análise.
- Garantir que a informação necessária estará disponível durante a análise

### 2. Estrutura

A estruturação do sistema é uma parte muito importante da análise. O objetivo da estruturação é fazer com que o sistema seja mais facilmente analisável. Tem como propósito a realização de uma divisão do processo em funções elementares, que serão posteriormente analisadas uma a uma. Esta divisão irá garantir que todo o sistema seja coberto na análise. O resultado obtido é normalmente um diagrama de blocos, que é então considerado como modelo do sistema.

Um diagrama de blocos pode ser facilmente muito detalhado e confuso, o que torna difícil visualizar a totalidade do sistema. O preferível é ter entre 5 a 10 blocos. Quando necessário o bloco pode ser dividido em subfunções.

### **3. Identificação dos desvios**

O objetivo desta fase da análise é identificar os desvios referentes a cada bloco identificados na fase anterior. A identificação pode envolver:

- Trabalho em equipa, onde as atividades e funções do sistema (armazém robotizado) são estudadas uma a uma.
- Entrevistas com pessoas familiarizadas com o processo e equipamento.

Portanto, para cada bloco é feita uma tentativa para identificar os desvios que podem levar acidentes ou ter consequências negativas para a organização.

Para identificação dos desvios vai ser usada uma *checklist*, apresentada no Anexo 1, esta tem em consideração as funções técnicas, humanas e organizacionais. Esta pode ser utilizada nas duas aplicações, análise baseada na investigação do acidente já ocorrido, mas é especialmente importante na análise de risco ao sistema.

Para além da utilização da checklist, a identificação de desvios pode ser feita através de entrevistas como já referido, com foco em problemas que já ocorreram e experiências gerais. Também pode ser muito útil a pesquisa em documentos de registos de acidentes, informações de incidentes, relatórios de produção etc.

### **4. Analisar e Avaliar os desvios**

O próximo passo é avaliar a importância dos desvios identificados. O objetivo desta etapa é hierarquizar os desvios de acordo com o seu nível de risco, com intuito de perceber qual o desvio que tem maior necessidade/ prioridade de ações de melhoria. O método por si mesmo não tem qualquer instrumento para proceder à avaliação do risco.

Assim sendo, a avaliação do risco será executada com aplicação de duas matrizes de risco, uma matriz com critérios pré-definidos, para avaliar o risco ocupacional e outra com critérios desenvolvidos de acordo com sistema em estudo, para avaliar o risco operacional.

A informação sobre a frequência e gravidade dos desvios é recolhida através de dados obtidos por meio de entrevistas, registos de operações, registo de avarias e investigações de acidentes já ocorridos.

### **5. Proposta de medidas de segurança**

O objetivo desta fase é desenvolver um conjunto de sugestões de como o sistema pode ser melhorado. Os desvios avaliados com maior nível de risco devem ser considerados prioritários.

As ações de melhoria devem primeiro investir na prevenção. Sempre que seja impossível eliminar ou prevenir o risco, atua-se na proteção. Portanto, a prioridade das medidas de prevenção e proteção a considerar, são (BS 8800:2004):

1. Se possível, eliminar os perigos por completo ou combater os riscos na fonte.
2. Se não for possível eliminar, tentar reduzir o risco na fonte

### 3. Por fim, reduzir a gravidade da consequência (proteção)

A primeira abordagem é eliminar a possibilidade de certo desvio se realizar. Remover a possibilidade do desvio acontecer pode significar mudar a atividade ou um dispositivo. Este tipo de medida é a mais eficaz mas muitas vezes difícil de implementar.

No segundo passo, o objetivo é reduzir a probabilidade de certo desvio se realizar. As falhas técnicas, podem ser reduzidas através da melhoria dos componentes de trabalho e procedimentos de manutenção. Relativamente ao erro humano estes podem ser evitados através de melhores interfaces homem-máquina, formação, treino e manuais de segurança mais perceptíveis/acessíveis.

Por último, reduzir a gravidade da consequência do desvio através de procedimentos e sistemas de trabalho seguros, adotando equipamentos de proteção individual (EPI) apenas como ultimo recurso, após terem sido consideradas todas as outras medidas de controlo.

### **3.3 Análise FMEA/FMECA**

A escolha da realização de uma análise FMEA/FMECA no decorrer deste trabalho deve-se ao facto de ser um método criado originalmente para análise de fiabilidade dos equipamentos. Tem como objetivo uma análise mais específica do risco operacional, de forma complementar a metodologia análise de desvios.

Como referido anteriormente FMEA/FMECA é método de análise qualitativa de um sistema que envolve o estudo dos modos de falha que pode existir em todos os componentes do sistema e a determinação das causas e dos efeitos de cada modo de falha (Villemeur, 1992).

A figura 3.3 representa o fluxograma do procedimento a aplicar na metodologia FMECA.

A etapa preliminar para a implementação de uma análise de risco eficiente é a criação de um grupo de trabalho FMEA / FMECA. Escolher as pessoas certas para realização da análise é fundamental, e deve garantir que todos os aspetos chave do processo em análise serão devidamente consideradas do ponto vista técnico, bem como de uma perspetiva de gestão de qualidade ( Lopez et al, 2010).

Para iniciar uma análise FMEA/FMECA é importante realizar uma análise funcional, que consiste em identificar as funções que o sistema deve desempenhar para satisfazer os requisitos do cliente. Nesta fase, os conjuntos principais constituintes do sistema a ser analisado são listados. Cada conjunto é então dividido em subconjuntos e seus componentes (Hammer, 1989).

A etapa preliminar para a implementação de uma análise de risco eficiente é a criação de um grupo de trabalho FMEA / FMECA. Escolher as pessoas certas para realização da análise é fundamental, e deve garantir que todos os aspetos chave do processo em análise serão devidamente consideradas do ponto vista técnico, bem como de uma perspetiva de gestão de qualidade ( Lopez et al, 2010).

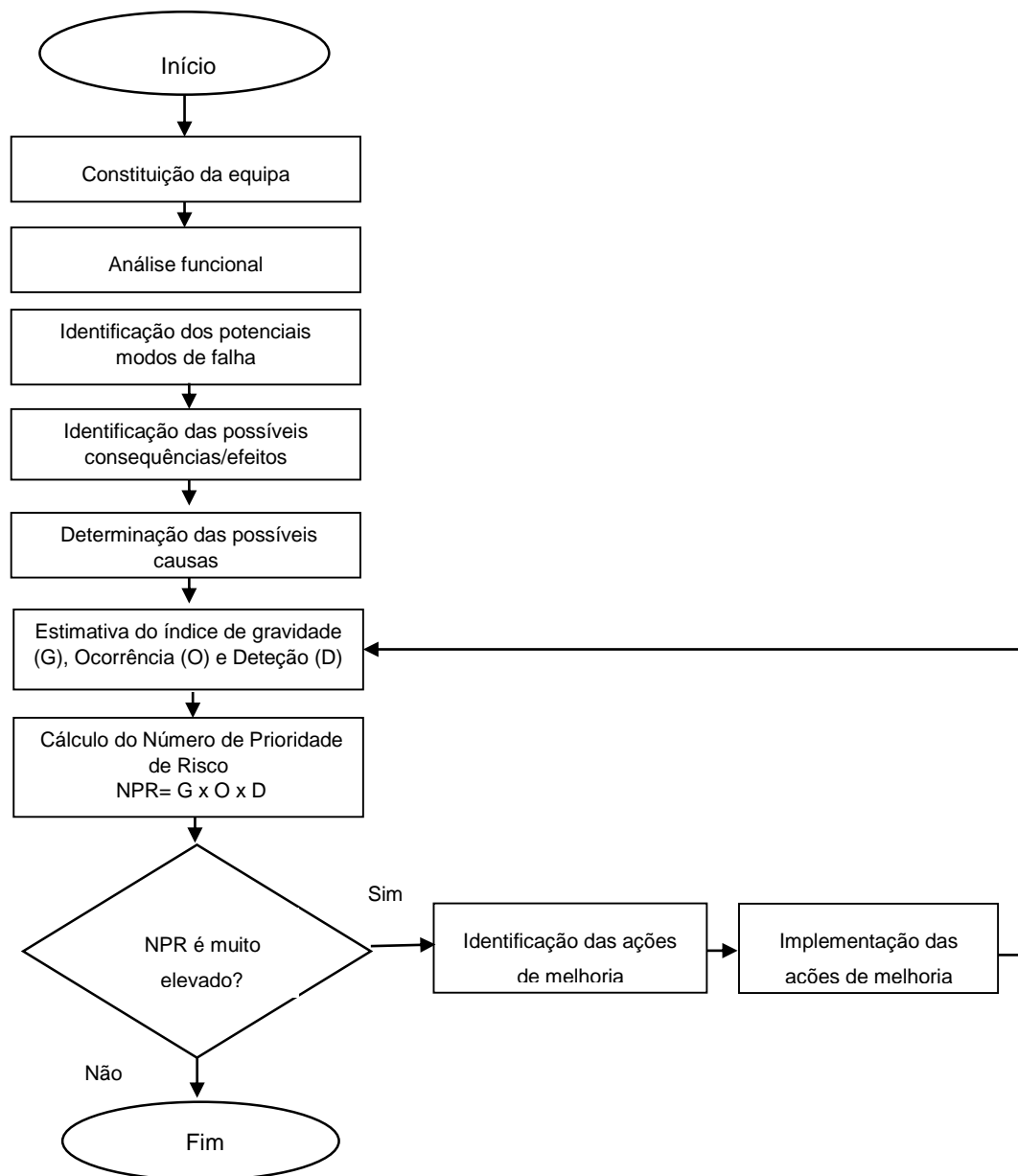


Fig. 3.3 Procedimento de análise FMECA (adaptado de Freija et al, 2008, p. 246)

A etapa preliminar para a implementação de uma análise de risco eficiente é a criação de um grupo de trabalho FMEA / FMECA. Escolher as pessoas certas para realização da análise é fundamental, e deve garantir que todos os aspetos chave do processo em análise serão devidamente consideradas do ponto de vista técnico, bem como de uma perspetiva de gestão de qualidade ( Lopez et al, 2010).

Para iniciar uma análise FMEA/FMECA é importante realizar uma análise funcional, que consiste em identificar as funções que o sistema deve desempenhar para satisfazer os requisitos do cliente. Nesta fase, os conjuntos principais constituintes do sistema a ser analisado são listados. Cada conjunto é então dividido em subconjuntos e seus componentes (Hammer, 1989).

Cada componente vai ser estudado para determinar todos os potenciais modos de falha ou seja analisar como pode deixar de cumprir as suas funções.



Analogamente para cada modo de falha identifica-se quais as suas consequências/efeitos, bem como as causas que os podem provocar.

Posteriormente é feita uma estimativa dos índices de gravidade (G), ocorrência (O) e deteção (D). A cada um dos índices faz-se corresponder um valor numérico (pontuação) que irá permitir a valoração dos mesmos.

É importante referir que existem diversas versões para classificar esses índices. Estes divergem consoante o objetivo e as propriedades do sistema em estudo, mas a modalidade mais frequente na literatura consiste numa escala pontuada de 1 a 10 para cada índice. As definições dos índices e respetivas classificações utilizadas neste trabalho são dadas abaixo.

**G- Gravidade:** Este índice indica a gravidade do efeito da falha, que afeta o sistema ou o cliente (Carmignani, 2009). A tabela seguinte representa os valores atribuir ao fator gravidade, onde 1 é considerado insignificante e 10 catastrófico.

Tabela 3.1- Determinação do índice de gravidade (adaptado de Lopez et al, 2008)

Índice de Gravidade (G)	Classificação
1-2	Secundário
3-5	Importante
6-7	Muito importante
8-9	Crítico
10	Catastrófico

**O- ocorrência:** Indica a probabilidade da falha ocorrer ou seja determina a probabilidade de uma vez ocorrida a causa, esta provocar o modo de falha. A tabela seguinte representa os valores atribuir ao índice ocorrência.

Tabela 3.2- Determinação do índice de ocorrência (adaptado de Lopez et al, 2008)

Índice de ocorrência (O)	Classificação	Frequência
1	Remoto	Uma vez por dois anos
2	Muito baixo	Uma vez por ano
3	Baixo	Uma vez por semestre
4	Moderado	Algumas vezes por ano
5		Algumas vezes semestre
6		Uma vez por trimestre
7	Alto	Algumas vezes por trimestre
8		Muitas vezes por trimestre

Tabela 3.2 (Continuação)

Índice de ocorrência (O)	Classificação	Frequência
9 10	Muito Alto	Muitas vezes por mês Muitas vezes por semana

**D- Detecção:** Este índice estima a probabilidade de os meios de controlo detetarem a causa ou o efeito do modo falha antes que o cliente seja afetado (Yang et al, 2011). A tabela seguinte representa os valores atribuídos ao índice de detecção da causa/efeito.

Tabela 3.3- Determinação do índice de detecção (adaptado Lopez et al, 2008)

Índice de Detecção (D)	Classificação	Critérios
1-2	Quase certo	Probabilidade <b>muito elevada</b> de detetar o erro: as inspeções e verificações vão detetar o erro quase certamente
3-4	Elevado	Probabilidade <b>elevada</b> de detetar o erro: É muito provável que as inspeções e verificações detetem o erro
5-7	Moderado	Probabilidade <b>moderada</b> de detetar o erro: É provável que as inspeções e verificações detetem o erro
8-9	Muito baixo	Probabilidade <b>baixa</b> de detetar o erro: É pouco provável que as inspeções e verificações detetem o erro
10	Remota	Probabilidade <b>muito baixa</b> de detetar o erro: Inspeções e verificações não conseguem detetar o erro; não existe sistema de detecção

Após valoração de cada índice, procede-se ao cálculo do NPR (número de prioridade de risco) este oferece um meio de classificar os modos de falha, sendo obtido pelo produto dos três parâmetros acima falados:

$$NPR = G \times O \times D$$

O NPR atribui um peso para cada modo de falha em consideração. Este parâmetro permite classificar as falhas por ordem de importância. Quanto mais elevado NPR de um modo de falha, maior é o risco para a fiabilidade do produto/sistema e, assim, a necessidade de se reexaminar. Alterações posteriores têm o objetivo de diminuir o NPR, a fim de evitar a sua ocorrência ou repetição (Carmignani, 2009). Após realizadas as alterações, é efetuado novamente o mesmo procedimento de forma a perceber se as medidas de ação implementadas tiveram algum efeito.

### 3.4 Matrizes de Avaliação de Risco

A valoração do risco corresponde à fase final da avaliação de risco e visa constituir um ponto de partida para configurar a decisão se o risco é ou não aceitável, bem como as prioridades de ação.

De acordo com a informação já escrita na seção 3.2 (passo 4 do procedimento) a avaliação do risco foi executada com duas matrizes diferentes, uma para risco ocupacional e outra para risco de operação do armazém robotizado.

#### 3.4.1 Matriz para valoração do risco ocupacional

Para avaliação do risco ocupacional foi adotada sem qualquer alteração a matriz de avaliação de risco da norma BS 8800:2004. É uma matriz com dimensão 4 x 3 (p x g) com cinco níveis de risco de acordo com a tabela 3.4.

Tabela 3.4- Forma simplificada para estimar o risco ocupacional (tradução BS 8800:2004)

Possibilidade de ocorrer dano	Gravidade do dano		
	Ligeiro	Moderado	Extremo/Elevado
Muito improvável (raro)	Risco muito Baixo	Risco muito Baixo	Risco elevado
Pouco provável	Risco muito Baixo	Risco médio	Risco muito Elevado
Provável/possível	Risco baixo	Risco elevado	Risco muito Elevado
Muito provável (esperado)	Risco baixo	Risco muito Elevado	Risco muito Elevado

Tabela 3.5 Exemplos de danos em função da gravidade (adaptado BS 8800:2004)

Níveis dos danos	Ligeiros	Moderados	Extremos
<b>Saúde</b>	Incômodo ou perturbação e irritação (ex.: dores de cabeça); doença temporária que provoque desconforto (ex.: diarreia).	Perda parcial da audição; asma; lesões relacionadas com o trabalho nos membros superiores; doença passível de provocar incapacidade permanente menor.	Doença aguda que provoque a morte; doença terminal; incapacidade permanente significativa.
<b>Segurança</b>	Lesões superficiais; feridas e cortes menores; irritação ocular provocada pela poeira.	Dilaceração; feridas abertas ou cortes profundos; queimaduras; entorses e distensões graves; concussões; fraturas menores.	Lesões mortais; amputações; lesões múltiplas; fraturas graves.

Tabela 3.6 Exemplos de categorias para a probabilidade de danos (tradução da BS: 8800:2004)

Possibilidade de ocorrer o dano	Muito provável	Provável	Pouco Provável	Muito improvável
Ocorrência típica	Tipicamente acontece uma vez por semestre a um individuo	Tipicamente acontece pelo menos uma vez em cada cinco anos a um individuo	Tipicamente acontece pelo menos uma vez na vida de trabalho de um individuo	Menos de 1% de possibilidade de ocorrer na vida de um individuo

Os critérios para definir a tolerabilidade ao risco também estão presentes nesta norma e são apresentados na tabela 3.7.

Tabela 3.7 Critérios de definição de tolerabilidade ao risco (tradução da BS 8800:2004)

Nível do risco	Tolerabilidade
Muito baixo	Aceitável
Baixo	Riscos que devem ser reduzidos de forma a serem considerados toleráveis ou aceitáveis
Médio	
Elevado	
Muito elevado	Inaceitável

A tolerabilidade é dividida em três classes de modo a permitir diferentes tipos de ação ou diferentes escalas de tempo para implementação das medidas de ação que tenham de ser aplicadas, em função do nível de risco.

É relevante referir que as três categorias de tolerabilidade pertencem à zona ALARP (As Low As Reasonably Practicable), ou seja, o risco é tolerável apenas em condições excepcionais tais como: se a redução do risco for impraticável ou se o custo for desproporcional ao benefício. Quanto ao risco inaceitável, tem de ser controlado independentemente dos custos associados.

Na tabela 3.8 são apresentadas orientações para medidas corretivas correspondentes a cada nível de risco

Tabela 3.8 Plano de controlo de risco (tradução BS 8800:2004)

<b>Nível do Risco</b>	<b>Orientações para medidas corretivas (com indicação do período de tempo necessário para a sua implementação)</b>
<b>Muito baixo</b>	Estes riscos são considerados aceitáveis. Não são necessárias outras ações para além daquelas que garantem que o controlo é mantido
<b>Baixo</b>	Não são requeridos controlos adicionais a não ser que os mesmos possam ser implementados a muito baixo custo (em termos de tempo, dinheiro e esforço). As ações para reduzir estes riscos são consideradas de baixa prioridade. Devem existir disposições para garantir que o controlo é mantido.
<b>Médio</b>	Deve ser equacionada a redução do risco para um nível tolerável, e preferencialmente para um nível aceitável, quando aplicável, mas os custos inerentes a medidas adicionais devem ser tidos em conta. As medidas de redução do risco devem ser implementadas num período de tempo definido. Devem ser estabelecidos procedimentos para garantir que o controlo é mantido, especialmente se os níveis de risco estão associados a consequências com danos.
<b>Elevado</b>	Devem ser desenvolvidos esforços substanciais para reduzir o risco. As medidas de redução do risco devem ser implementadas urgentemente em período de tempo definido; pode ser necessário considerar a suspensão ou a restrição da atividade, ou aplicar medidas de controlo interinas, até às primeiras estarem implementadas. Pode ser necessária a atribuição de recursos consideráveis para a implementação das medidas adicionais de controlo. Devem ser estabelecidos procedimentos para garantir que o controlo é mantido, especialmente se os níveis de risco estão associados a consequências com danos extremamente graves ou muito graves.
<b>Muito elevado</b>	Estes riscos são inaceitáveis. São necessárias melhorias substanciais no controlo do risco, para que este seja reduzido para um nível tolerável ou aceitável. A atividade de trabalho deve ser suspensa até estarem implementadas as medidas necessárias para que o risco deixe de ser “muito elevado”. Se não houver possibilidade de reduzir o risco, o trabalho não pode ser retomado.

A aplicação de medidas e sistemas de controlo do risco tem como objetivo a redução da probabilidade ou da gravidade do risco. Como já referido a prioridade é sempre eliminar os perigos ou combater os riscos na fonte.

### 3.4.2 Matriz para valoração do risco de operação

De forma a ser mais específica na valoração do risco operacional, foi desenvolvida intencionalmente para o presente trabalho uma matriz de risco direcionada para a operação do armazém robotizado na Inapa. Esta consiste numa matriz de dimensão 3 x 4 (p x g), mas desta vez com apenas três níveis de risco.

O motivo para se considerarem apenas três níveis de risco neste caso (baixo (1-2), médio (3-6), elevado (8-12)) é justificado pelo fato de ser um desenvolvimento novo e de existir menos conhecimento e informação sobre os riscos envolvidos.

Por esse motivo, optou-se por uma escala menos “sensível” e de certa forma mais conservadora. Por isso mesmo o nível “baixo” corresponde apenas a duas pontuações (1-2), enquanto o risco médio corresponde a uma banda larga de pontuações mais alargada (3-6), obrigando a dar maior

atenção a partir da pontuação “9”, correspondendo a banda larga (9-12) à situação de risco elevado.

A tabela 3.9 ilustra uma matriz simplificada para classificar o risco operacional. Os critérios utilizados para desenvolvimento da matriz de avaliação de risco foram: o tempo de paragem e se a paragem do armazém é total ou parcial, como demonstrado na tabela 3.10

Tabela 3.9 Forma simplificada para estimar o risco operacional

Probabilidade	Gravidade			
	1. Ligeiro	2. Moderado	3. Elevado	4. Muito Elevado
1. Improvável	1	2	3	4
2. Provável	2	4	6	8
3. Muito Provável	3	6	9	12

**Legenda:**

(1-2)	Risco Baixo	(3-6)	Risco Médio	(8-12)	Risco Elevado
-------	-------------	-------	-------------	--------	---------------

Tabela 3.10 Exemplos do impacto da falha em função da gravidade

Gravidade	Ligeiro	Moderado	Elevado	Muito Elevado
<b>Impacto na atividade; perdas operacionais</b>	Sem tempo de paragem; atrasos no serviço e/ou erros de fornecimento	Paragem total até 4h ou paragem parcial dos transelevadores ou cabeceira até 1 semana	Paragem total até 2 dias ou paragem parcial dos transelevadores ou cabeceira até 1 mês	Paragem total superior a 2 dias ou paragem parcial dos transelevadores ou cabeceira superior a 1 mês

No desenvolvimento da tabela 3.10 não foram considerados os custos inerentes às perdas financeiras relativas ao tempo de paragem total ou parcial do armazém robotizado. Tal acontece, devido à dificuldade de mensurar o custo de paragem, uma vez que existe uma grande flexibilidade em armazém, de forma a contornar a paragem parcial do armazém robotizado ou seja já existem mecanismos implementados de “recuperação” da falha por outros processos.

Algumas práticas utilizadas para minimizar o impacto da paragem parcial do armazém robotizado são: a mercadoria relativa a um único produto não é toda colocada no mesmo corredor do

armazém robotizado, a Inapa possui também um armazém convencional onde possui um “*stock de segurança*” de alguns dos produtos armazenados no armazém robotizado.

Analogamente foram estabelecidos os critérios para a probabilidade de ocorrência de um desvio (tabela 3.11).

Tabela 3.11 Categorias para a frequência do desvio

Possibilidade de ocorrer um desvio	Improvável	Provável	Muito Provável
Frequência	Menos de uma vez por ano	Algumas vezes por ano	Algumas vezes por semestre

### 3.5 Síntese do Capítulo

Neste capítulo é definida a metodologia geral deste trabalho. Como referido, vai ser utilizado duas metodologias de análise e avaliação de riscos: análise dos desvios e a FMECA, sendo que a análise dos desvios irá permitir um “varrimento” geral dos perigos ou seja em termos de risco ocupacional e operacional e a metodologia FMECA irá complementar o método análise dos desvios fazendo uma análise mais específica do risco operacional.

Relativamente ao método análise de desvios, o método por si mesmo não tem qualquer instrumento para proceder à avaliação de risco. Portanto, a avaliação do risco será feita através da aplicação duas matrizes de risco; para avaliação do risco ocupacional foi adotada a matriz de risco da norma BS: 8800:2004 composta por 5 níveis de risco e para avaliação do risco operacional foi desenvolvida uma matriz de acordo com o sistema em estudo composta apenas por 3 níveis de risco.

## Capítulo 4- Caraterização do Armazém

Neste capítulo é feita uma breve caraterização da empresa de acolhimento e da instalação estudada.

### 4.1 Inapa

A Inapa Portugal localiza-se em Sintra, na freguesia de Mem Martins, é uma subsidiária da Inapa IPG com sede em Lisboa. Em Portugal possui também um armazém localizado no Porto. Presentemente emprega cerca de 120 colaboradores. Esta é a empresa líder no setor da distribuição de papel em Portugal, com mais de 8500 referências em *stock*. Como referido é detida pela Inapa IPG. Constituída em 1965 e cotada na Bolsa de Lisboa desde 1980, está hoje presente em nove países (<http://www.inapaportugal.pt>, 10/06/2015).

Em Portugal o portfolio da empresa compreende soluções de papel e consumíveis de escritório. A Inapa tem também uma área de negócio específica de equipamentos e consumíveis de embalagem, servindo diariamente os seus clientes com soluções competitivas de acondicionamento, arquivo e transporte (<http://www.inapaportugal.pt>, 10/06/2015).

Para além do exercício da distribuição do papel a Inapa também presta serviços no setor da logística (receção, armazenagem e distribuição), tendo com principais clientes o Lidl, Média Markt e Clube de Autor.

As instalações de Sintra ocupam uma área de implantação total de cerca de 23 000 m<sup>2</sup>, dos quais cerca de 13500 m<sup>2</sup> são de espaço coberto. O estabelecimento possui três pisos acima do solo, sendo no que no piso 0 se encontra o armazém e no piso 1 e 2 a parte administrativa.

A gestão ambiental, com enfoque na gestão florestal adequada, constitui um dos pilares da cultura do Grupo Inapa, assim sendo esta possui um sistema de Gestão Integrado da Qualidade e Ambiente certificado de acordo com as Normas ISO9001:2008 e ISO14001:2004. Como parte da sua política ambiental e preocupação pela proteção e preservação do ambiente, a Inapa garante o controlo da origem das madeiras utilizadas na produção dos seus produtos, dando preferência a fornecedores certificados em FSC® e PEFC™ no âmbito de Custódia e certificação florestal (<http://www.inapaportugal.pt>, 10/06/2015).

No âmbito da SST e do risco contra incêndio, a empresa tem-se pautado por um conjunto de regras e orientações impostas a todos os colaboradores.

Portanto a Inapa criou conjunto de medidas de autoproteção constituídas por um plano de prevenção, plano de emergências interno e pelos registos de segurança.

Relativamente aos Serviços de SST este é prestado por uma empresa externa. Internamente este serviço (externo) reporta ao Diretor de logística.

O horário normal de funcionamento da Inapa Sintra é das 9h00 às 18h. No entanto, por ser um estabelecimento de ocupação de múltiplos serviços, o horário de funcionamento alterna dependendo de cada serviço. Pontualmente poderão existir dentro do edifício alguns funcionários



fora do horário normal de funcionamento ou seja no horário de ocupação reduzida que ocorre nos períodos de tempo entre as 7h e as 9h e entre as 18h e 21h30.

No período de ocupação nula não existe ocupação do estabelecimento, encontrando-se apenas presente no estabelecimento um vigilante na portaria.

Existe uma equipa de vigilância, pertencente a uma empresa prestadora de serviços de segurança, que se encontra presente no estabelecimento 24h/dia. A empresa assegura a presença contínua por turnos de um vigilante no período diurno, noturno e fim de semanas, que asseguram o controlo de acessos de pessoas, visitantes, viaturas e rondas ao estabelecimento.

A Inapa possui um sistema integrado interno de informação denominado por ISI que permite o acesso de toda informação por qualquer colaborador.

Este estudo cobre especificamente o armazém robotizado, o qual em conjunto com o armazém convencional, constitui a instalação a que se chama “armazém”.

No armazém estão presentes 18 colaboradores alocados a diferentes tarefas, como se poderá ver pelo organograma do mesmo.

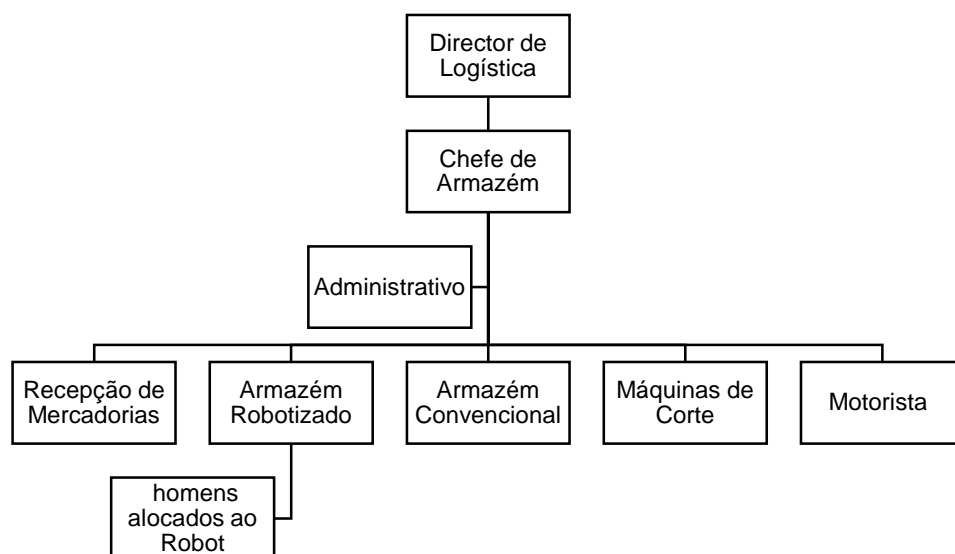


Fig. 4.1 Organograma do armazém

Na figura 4.2 está representado a planta do armazém para uma melhor percepção do layout do mesmo.



Fig. 4.2 Planta do armazém

#### 4.2 Armazém robotizado

O armazém robotizado ocupa uma área de 2913 m<sup>2</sup>, possuindo uma altura de 21 metros e um comprimento cerca de 139 metros. É uma zona vedada, fechada e autónoma, que funciona automaticamente na armazenagem dos produtos.

Tem na sua constituição dois grandes grupos construtivos, os transelevadores que estão presentes nos cinco corredores existentes e um sistema de transporte sobre solo denominado por cabeceira.

O armazém possui uma capacidade de dez mil alvéolos e os produtos estão dispostos num sistema de prateleiras com um corredor entre elas. Este divide-se em três zonas (A, B e C), sendo a zona A é onde se encontram os produtos com maior rotação ou seja que se encontram mais perto da cabeceira.

Os produtos armazenados no armazém robotizado têm de cumprir determinadas características em relação ao peso, altura e forma. Assim sendo, a paleta não pode ultrapassar

aproximadamente os 750 kg, 1,4 metros de altura, nem transpor as margens de uma euro paleta. Todos os produtos que obedecem às características referidas, são armazenados nesta instalação.

Geralmente os produtos armazenados nesta zona são o papel, embalagens e consumíveis gráficos/escritório como também diversos produtos do cliente LIDL, Clube de Autor e Media market.

É importante referir que o sistema do armazém robotizado funciona em separado do sistema ISI (sistema interno de informação), embora exista passagem de dados do ISI para o sistema do robot, o inverso não acontece. Portanto o robot recebe as ordens de separação/arrumação do sistema ISI, executando de imediato o seu próprio sistema, o sistema Master. Este é composto por um servidor principal e duas bases de dados, “Monitor de transportes” onde regista e decide o posicionamento de cada paleta e o “Status” que controla cada motor ou máquina, comunicando-se entre si.

Relativamente à manutenção, para além do operador de manutenção interno, a cada dois meses uma empresa externa, Mecalux, vem fazer uma inspeção de todos os componentes do armazém robotizado.

De forma resumida será explicado o procedimento de expedição e receção dos produtos no armazém robotizado, que está ilustrado no fluxograma da figura 4.3.

### **Receção**

O departamento de compras emite os pedidos aos seus fornecedores, tendo em conta a necessidade dos clientes. Esses pedidos são introduzidos no *software* ISI.

Quando a mercadoria é rececionada esta é conferida pelo operário de armazém, que posteriormente entrega toda a documentação ao administrativo. O administrativo irá emitir uma ordem de arrumação definindo em que armazém a mercadoria vai ser armazenada (Convencional ou Robotizado).

No caso de ser no armazém robotizado, este recebe a informação através do ISI, emitindo de imediato uma etiqueta com um código de barras para afixar em cada paleta. A etiqueta, além de possuir os dados comuns como o código do artigo, nome, referência e quantidade por paleta, indica um número de ordem de entrada que irá ser determinante para o sistema de armazenagem interno.

### **Expedição**

O centro de atendimento de clientes ou comercial emite, através do ISI, a fatura/guia da respetiva venda, emitindo informaticamente o “Ficheiro de separação” do armazém.

Quando o administrativo do armazém tem acesso ao documento, este decide em que carro/porta irá lançar a mercadoria, tendo em conta o local entrega. De seguida confirma no sistema ISI a ordem de separação anexando o respetivo carro.

O sistema ISI verifica automaticamente a existência da mercadoria no armazém robotizado, mandando a ordem de separação para o robot.

O operador não tem qualquer intervenção na decisão de execução das ordens no robot. É o próprio que gere, tendo em conta um sistema FIFO (*First In First out*).

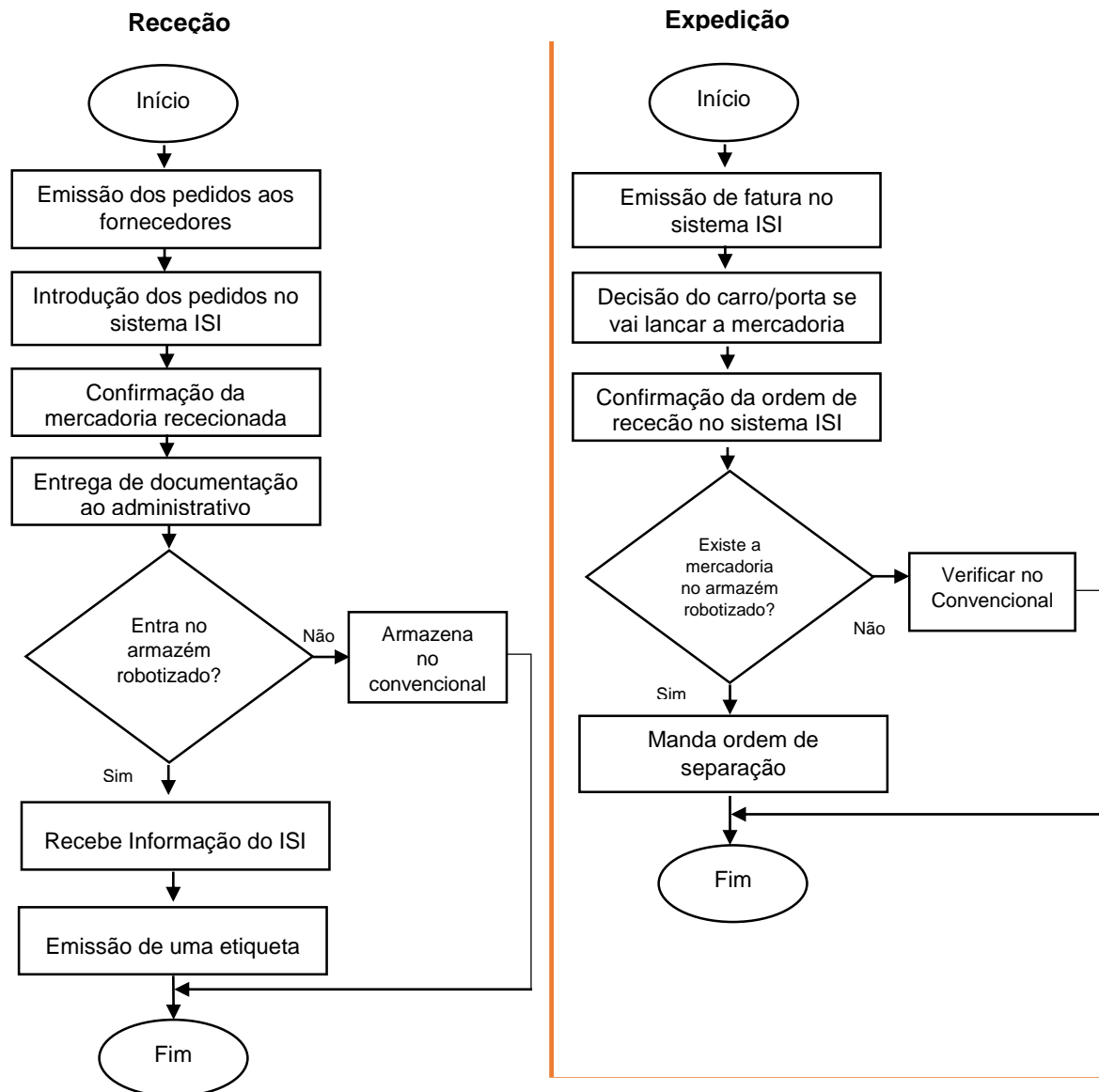


Fig. 4.3 Fluxogramas dos processos de receção e expedição

De seguida será feita uma descrição mais pormenorizada dos dois grandes constituintes do armazém robotizado, transelevador e a cabeceira.

### **Transelevador**

A função do transelevador consiste em armazenar ou retirar de forma automática ou manual as unidades de carga.

Um transelevador tem na sua constituição os seguintes grupos construtivos:

1. Guia inferior e cabeças de translação
2. Suporte de elevação
3. Cabine
4. Grupo de condução de elevação
5. Mecanismos de extração e depósito de carga
6. Mastro
7. Guia superior

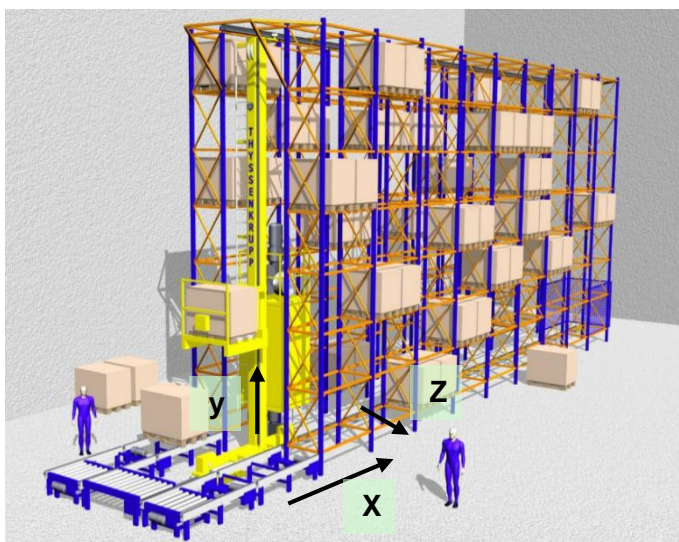


Fig. 4.4 Imagem representativa do transelevador

#### **1. Guia inferior e cabeças de translação**

O guia inferior é um quadro que realiza a função de base do transelevador. Na sua parte superior montam-se os mastros do transelevador, enquanto nos seus extremos encontram-se as cabeças de traslação que permitem o movimento horizontal do transelevador. Chama-se cabeça de traslação ao conjunto funcional que inclui cada uma das rodas (condução ou não), com a que se efetua a traslação no eixo X como se pode ver pela figura 4.4 e as rodas laterais que guiam a viagem do transelevador sobre o trilho inferior.

## **2. Suporte de elevação**

O suporte de elevação encarrega-se de elevar a carga até à sua posição na prateleira. Nela se encontra o mecanismo de extração e depósito da carga. O suporte eleva-se por meio de transmissões de cabos de aço. Este está equipado com diversos sensores com os quais se garante o armazenamento e a retirada segura das unidades de carga.

## **3. Cabine**

A cabine encontra-se ligada ao suporte de elevação e pode transportar uma pessoa de cada vez. Através da mesma, é possível operar o transelevador de forma manual, com uma velocidade mais reduzida. Também é utilizada para a eliminação de falhas e realização de trabalhos de manutenção.

## **4. Grupo de condução de elevação**

O grupo de condução de elevação serve para mover o suporte de elevação por meio de cabos metálicos. Consiste em um motor redutor de engrenagens cónicas que se encontra unido um tambor de enrolamento para o cabo de aço. Este encontra-se fixado ao mastro com parafusos.

## **5. Mecanismo de extração e depósito de carga**

Tem a função de armazenar ou retirar as unidades de carga das prateleiras. O sistema utilizado para realizar a extração da carga é constituído por garfos telescópicos.

O mecanismo de extração move as unidades de carga relativamente ao eixo Z como ilustrado na figura 4.4. Sobre este mecanismo também se instalam sensores para a captação e deteção do deslocamento e do posicionado ao longo do dito eixo.

## **6. Mastro**

No mastro encontram-se as guias encarregadas de guiar o suporte nos movimentos de elevação e descida. Sobre o mesmo estão presentes diversos grupos de construção de segurança, sendo estes:

- O limitador de velocidade e o mecanismo encarregado de ativar o paraquedas do suporte de elevação.
- A escada com cabo de segurança.
- Os sistemas de medição do deslocamento e da posição.
- Os desembarques para a escada de segurança.
- O desembarque para o armário de distribuição.
- A plataforma de manutenção superior.
- As guias de alimentação elétrica para o suporte de elevação.

## 7. Guia Superior

Sobre a guia superior encontram-se montadas as roldanas de encaminhamento para os cabos de elevação, as rodas guia para a faixa superior e os sensores que medem sobrecarga ou cabo solto.

### Cabeceira

Tem o objetivo de transportar e manipular as diferentes cargas para que estas cheguem ao seu destino em boas condições, para posteriormente estas cargas serem manuseadas pelo armazém robotizado ou pelos operários da plataforma (picking manual).

Os sistemas de transporte utilizam roletes e cadeias sobre os quais assenta a carga. Na cabeceira existem vários motores que se encarregam do funcionamento das mesas; as mesas estão equipadas com fotocélulas de forma a ler o posicionamento da paleta no decorrer do seu caminho.

Tem na sua constituição uma plataforma, onde se encontram os operadores responsáveis pelo picking do armazém robotizado.

Na cabeceira também está presente uma balança e uma lente que efetua a leitura do código de barras existente em cada paleta. Caso a paleta não cumpra as condições estipuladas ou haja um erro de leitura do código de barras, esta é reconduzida para a zona de saída à qual se dá o nome de rechaços. Portanto, existem quatro "terminais" sendo que um é especificamente usado para a entrada das paletes no armazém, dois para saída das paletes e por último os rechaços. Na figura 4.5 é representado um sistema de transporte constituído por rolos e cadeias.



Fig. 4.5 Sistema de transporte constituído por rolos e cadeias

Na figura 4.6 são apresentadas imagens do armazém robotizado na empresa Inapa.



Fig. 4.6 Imagens do armazém robotizado

### 4.3 Síntese do Capítulo

Neste capítulo é feita a descrição da empresa em estudo. A Inapa Portugal é uma empresa com principal atividade no setor da distribuição de papel, que presta também serviços na área da logística.

Este estudo cobre especificamente todas as atividades realizadas no armazém robotizado. Portanto realizou-se uma descrição detalhada da área em estudo. Este foi dividido em dois grandes grupos construtivos, a cabeceira e os transelevadores.



## Capítulo 5- Análise dos Desvios e FMECA. Resultados, Discussão e Recomendações

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados mais relevantes da aplicação das metodologias Análise de Desvios e FMECA.

Como já referido, foi aplicada a técnica análise de desvios para fazer um varrimento geral dos perigos, isto é, abrangendo a vertente de risco ocupacional, mais especificamente os riscos inerentes às tarefas de manutenção, e a vertente de risco operacional ou seja o risco intrínseco aos equipamentos e instalações. Posteriormente foi aplicada a metodologia FMECA para uma análise mais específica do risco de operação, e deste modo complementar a metodologia análise de desvios.

Na secção 5.1 será feita uma síntese do risco ocupacional e na secção 5.2 uma síntese do risco operacional, no qual se irá juntar os riscos inerentes às duas metodologias

As tabelas referentes à aplicação dos métodos a cima referidos encontram-se nos **Anexos I e II**.

Para a implementação de algumas das medidas de segurança que atuam essencialmente a nível preventivo é necessário uma análise do tipo custo-benefício. Em vista disso, foram pedidos orçamentos e o descritivo dos procedimentos a se realizar para algumas das ações de melhoria propostas de modo a verificar se compensa a relação custo-benefício. Como resultado deste exercício chegou-se à conclusão, que algumas das recomendações sugeridas acarretam um investimento excessivamente avultado para benefício que trazem.

### 5.1 Síntese dos riscos ocupacionais

Utilizando o método análise de desvios descrito no capítulo 3, foi possível realizar uma análise ao risco ocupacional.

Na tabela 5.1 é apresentada uma síntese dos riscos ocupacionais considerados médios, elevados e muito elevados.

Tabela 5.1 Síntese dos riscos ocupacionais

Função	Perigo (desvio)	Consequências	Barreiras
Técnica: Cabeceira	Queda do operador de <b>picking</b> na zona da cabeceira (médio)	Acidente de trabalho; queda/esmagamento contra as mesas de roletes (Altura~1m)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Colocar uma divisão tubular em aço que no entanto permita o acesso do scanner (foi pedido orçamento indicativo)</li><li>- Zona de picking com plataforma antiderrapante</li><li>- Utilização de botas antiderrapantes</li></ul>

Tabela 5.1 (continuação)

Função	Perigo (desvio)	Consequências	Barreiras
Técnica: Cabeceira	Queda do operador de <b>manutenção</b> na zona da cabeceira (elevado)	Acidente de trabalho; queda/esmagamento contra as mesas de roletes (h~1m)	- Passadiço de metal que permita o acesso a qualquer parte do robot (foi pedido orçamento indicativo) - Botas antiderrapantes
Técnica: Paletes	Paletes partidas por baixo (muito elevado)	Acidente de trabalho; esmagamento do operador pela paleta	- Colocar scanner na zona de entrada de paletes - Colocar um sistema de travamento em todos os corredores - Monitorização visual das paletes - Substituir paletes de madeira por paletes de plástico - Isolar área do corredor 5 com estrutura de aço
Humana (tarefas de manutenção)	Comportamentos inadequados (médio)	Acidente de trabalho; Quedas	- Vigilância por parte de um superior/supervisor - Criar regras de trabalho seguro em conjunto com os trabalhadores - Formação e treino
Organizacionais e gestão	Falhas de formação em segurança (muito elevado)	Acidente de trabalho; múltiplos tipos de acidente	- Criar plano de formação específico - Formação e treino sobre operação em segurança

Através dos resultados da metodologia de análise dos desvios verificou-se que as fontes de perigo para ocorrência de acidente com maior risco são:

- Paletes partidas por baixo
- Falhas de formação

Quando as paletes se encontram partidas por baixo, os garfos não conseguem retirar a totalidade da paleta, ou ao retirarem a paleta embatem contra a zona danificada empurrando-a. Neste caso a consequência será a queda da paleta ou da paleta adjacente.

O risco de acidente acontece porque existe circulação de pessoas na lateral do corredor 5 do armazém robotizado; tal não ocorre nos restantes corredores pois estes possuem um transelevador entre eles ou no caso do corredor 1 que se encontra muito próximo de uma parede.

Caso haja a queda da paleta no corredor 5, o trabalhador poderá sofrer lesões múltiplas, fraturas graves ou até mesmo lesões mortais.

Esta classificação de muito elevado resultou de uma probabilidade reduzida mas uma gravidade elevada/extrema nas suas consequências. Segundo o apurado este acidente nunca aconteceu. Este facto apoiou a estimativa da probabilidade de ocorrência deste dano como pouco provável. Utilizando como base a norma BS: 8800:2004, que sugere critérios para a classificação dos níveis de consequência e de probabilidade. Assim alcançou-se uma estimativa do risco “muito elevado” neste caso.

Para reduzir a probabilidade de ocorrência é sugerido que se coloque um sistema de travamento nas prateleiras (racks) que impeça a queda da paleta caso esta seja empurrada. Outra medida de prevenção, continuando atuar sobre a probabilidade, seria isolar a área lateral do corredor 5 com uma estrutura de aço, o que irá permitir a eliminação por completo da transferência de energia.

Atuando sobre a paleta, propôs-se a colocação de um *scanner* na zona de entrada de paletes de forma a detetar se a paleta está danificada. Caso esta medida não seja possível, terá de ser feita uma monitorização visual das paletes antes da entrada para o armazém robotizado. Alternativamente, seria a substituição das paletes de madeira por paletes de plástico.

Outro perigo considerado como sendo muito elevado são as falhas de formação em segurança. Os colaboradores que assistem o armazém robotizado não têm qualquer formação em segurança para a função específica de manutenção. A falta de conhecimento dos riscos inerentes ao armazém robotizado leva a uma maior probabilidade de ocorrerem acidentes.

Assim sendo, os acidentes podem ocorrer por diversas razões e as consequências podem ser variadas. Para este risco a solução passa pela formação e treino dos operadores alocados às tarefas de manutenção no armazém robotizado. O respetivo plano de formação deve ser criado à medida das necessidades específicas aqui assinaladas.

No que respeita ao nível de risco “elevado” foi identificado a possibilidade de queda do operador de manutenção na cabeceira (Figura 5.1).

Seguindo a lógica equivalente à utilizada anteriormente foi estimado para este perigo um risco “elevado”.

Sempre que o operador de manutenção necessita de executar alguma tarefa de manutenção ou de reparação no armazém robotizado, este tem de cruzar a cabeceira sem qualquer tipo de passagem adequada para o efeito como se pode ver na figura 5.1.

Este perigo poderá levar ao esmagamento do operador contra as mesas de roletes que se encontram aproximadamente a um metro de altura, o que pode provocar feridas, cortes profundos, entorses, distensões, concussões e fraturas.

Neste caso, para eliminar a probabilidade de ocorrência propôs-se a colocação de um passadiço de metal na cabeceira que permita o acesso do trabalhador a qualquer parte do robot. Outra medida, neste caso de proteção, seria a utilização de calçado antiderrapante.



Fig. 5.1 Passagem do operador de manutenção na cabeceira

Para a primeira medida sugerida, **colocação de um passadiço de metal na cabeceira**, foi pedido um orçamento indicativo bem como a respetiva especificações técnicas, como se pode ver pela tabela 5.2

Tabela 5.2 Orçamento e descrição da colocação de um passadiço de metal na cabeceira

Art.	Designação dos trabalhos	Quant	Pr. unit	Pr. Totais
1	Fornecimento e montagem constituída por: - Estrutura tubular com tubo 60x 60 - Tubo 40 x 40 x 2 para travamento dos pés; - Sapatas em chapa de 8 mm com 1,40 x 1, 40 m; - Chapa superior amendoada 4/6 - Parafusos, anilhas porcas e pernes de fixação	3 uni	650,00€	1.950,00 €
2	Pintura a tinta de esmalte amarelo			
			Total...	1.950,00

Finalmente, os riscos considerados com nível “médio”, são:

- Queda do operador de picking na zona da cabeceira
- Comportamentos inadequados

O risco de queda do operador de picking na zona da cabeceira parece muito semelhante ao risco referido anteriormente (queda do operador de manutenção na zona da cabeceira). A diferença encontra-se na existência de uma plataforma própria para os operadores de picking realizarem o seu trabalho. Neste caso a única forma de caírem é se escorregarem ou se desequilibrarem.

Por esse motivo considerou-se a probabilidade de ocorrência como sendo pouco provável, e uma gravidade moderada.

Analogamente, este perigo poderá levar ao esmagamento do operador contra as mesas da cabeceira e provocar feridas, cortes profundos, concussões e fraturas.

Como medida de segurança é sugerido que se coloque uma divisão tubular em aço que permita o acesso do *scanner* à paleta ou seja uma proteção anti-queda. Uma medida adicional de prevenção será colocar uma plataforma antiderrapante, para prevenir que o operador não escorregue. Outra medida possível, atuando ao nível da proteção é a utilização de calçado antiderrapante.

Em relação à primeira medida referida também foi pedido um orçamento, como demonstrado na tabela 5.3

Tabela 5.3 orçamento e descrição para a colocação de uma divisão tubular

Art.	Designação dos trabalhos	Quant.	Pr. unit	Pr Totais
1	Fornecimento e montagem de proteções em cantoneira 70 x 70 x 7, incluindo abrir, furar e rebaixar para fixação, pernes, anilhas, porcas e bucha química.	18 un	55€	990,00€
2	Pintura a tinta de esmalte amarelo e preto			
Total...				990,00€

Neste caso constatou-se que o benefício não compensa o custo, uma vez que esta medida poderia dificultar o acesso do *scanner* à paleta, causando desconforto ao operador. Ou seja, poderia resolver um problema, mas criar outro.

Em relação ao risco de comportamentos inadequados, mais especificamente pelo operador de manutenção, estes acontecem predominantemente em relação a infrações das regras de segurança e dos procedimentos de trabalho. O operador justifica-se, essencialmente, pela falta de conforto da utilização dos equipamentos de segurança e de certas instruções de trabalho serem pouco práticas de cumprir.

Um exemplo da infração das regras de segurança por parte do operador é a não utilização do arnês na realização dos trabalhos de manutenção ou reparação dos transelevadores. Relativamente às instruções de trabalho, uma das regras que operador de manutenção acha pouco prática é a obrigatoriedade de entrar pelas traseiras do armazém robotizado.

De forma a contornar o sucedido, propõe-se a elaboração dos procedimentos de trabalho e das regras de segurança em conjunto com os colaboradores, para que estas sejam mais acessíveis e práticas para o trabalhador.

Posteriormente uma medida importante será a vigilância por parte de um superior, para orientar e verificar se os operadores estão a cumprir as regras estipuladas. Para tal também é necessária a formação e treino dos mesmos.

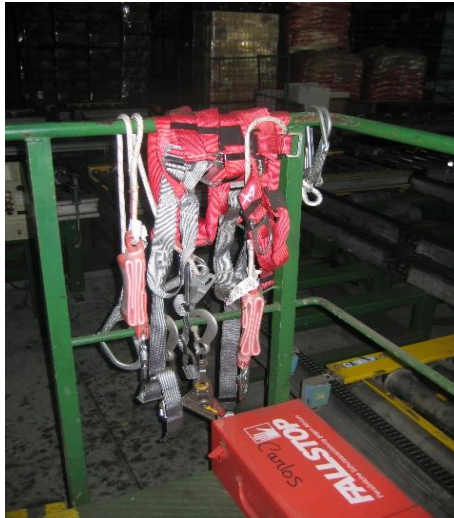


Fig. 5.2 Arnês

## 5.2 Síntese dos riscos operacionais

Neste subcapítulo será apresentada uma síntese dos resultados da aplicação das duas metodologias, análise de desvios e FMECA, descritos no capítulo 3.

A síntese irá cobrir os riscos que foram avaliados como “elevados”. É importante referir que vão ser considerados todos os perigos que foram classificados com um nível de risco elevado, mesmo que a classificação do risco seja elevado em apenas num dos métodos.

No caso da metodologia FMECA, não está estipulado pelo método para que NPR o risco é considerado baixo, médio ou elevado. Portanto este será convencionado pela autora desta dissertação.

A pontuação máxima possível é  $NPR = 10 \times 10 \times 10 = 1000$ , logo o número de prioridade de risco (NPR) encontra-se num intervalo de  $[1;1000]$ .

Foi considerado um risco elevado a partir do momento em que o NPR ultrapassa cerca de  $1/3$  da escala.

Assim, iremos ter:

NPR	{	Baixo: $<100$
		Médio: $100 \leq NPR < 350$
		Elevado: $\geq 350$

Nas tabelas 5.4 e 5.5 é apresentada uma síntese dos riscos de operação considerados como “elevados” no método análise dos desvios e FMECA, respetivamente.

Tabela 5.4. Síntese do risco operacional; aplicação análise dos desvios

Função	Perigo (desvio)	Consequências	Barreiras
Técnica: Quadro elétrico	Colisão dos empilhadores com quadro elétrico	Paragem total do armazém robotizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolar área com estrutura de aço o chão</li> <li>-Manutenção dos empilhadores</li> <li>- Formação e treino dos condutores</li> <li>- Sinalização do quadro elétrico</li> </ul>
Técnica: Cabeceira	Colisão dos empilhadores com plataforma de picking e zona de entrada e saídas de paletes	Paragem parcial do armazém robotizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocar uma proteção de borracha na plataforma</li> <li>-Colocar barreira em borracha no piso que permita a paragem do empilhador antes de chegar à estrutura mas sem danificar as rodas do mesmo (entradas e saídas de paletes)</li> <li>-Manutenção dos empilhadores</li> <li>-Formação e treino dos condutores</li> </ul>
Técnica: Paletes	Paletes partidas por baixo	Queda da paleta; paragem parcial do armazém robotizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocar um scanner na zona de entrada de paletas</li> <li>- Colocar um sistema de travamento em todos os corredores</li> <li>- Substituir paletes de madeira por paletes de plástico</li> <li>- Monitorização visual das paletes</li> </ul>
Técnica: Sistema de controlo, elétrico mecânico	Sistema obsoleto	Paragem total do armazém robotizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alterar todo o sistema</li> <li>- Inventariar todos os <i>spar</i>es e identificar os que estão obsoletos</li> </ul>
Organizacionais e Gestão	Falta de redundância dos operadores de manutenção/reparação do armazém robotizado	Paragem total do armazém robotizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Contratação de operadores especializados</li> <li>- Serviço subcontratado</li> <li>- Formação sobre operação</li> </ul>
	Informação pouco acessível; manuais de instruções em castelhano	Paragem parcial do armazém do armazém robotizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tradução dos manuais de instruções em português</li> </ul>

Tabela 5.5 Síntese dos riscos ocupacionais; aplicação da metodologia FMECA

Nome do componente	Função(ões)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da falha	Causa potencial da falha	Deteção	G	O	D	NPR	Ações Recomendadas
Cartas eletrónicas	Gerir e armazenar toda informação relativa ao armazém robotizado	Avaria de uma carta	Paragem total ou parcial do armazém robotizado	Fim de vida útil, picos de electricidade	Nenhuma	7	5	10	350	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possuir stock das cartas</li> </ul>
Fotocélulas Garfos	Ler presença da paleta nos garfos	Interpretação errada dos dados; avaria	Queda da paleta; Não retirar a paleta na totalidade; Embate da paleta contra estrutura (racks)	Deslize da paleta devido ao peso ou Irregularidades nas mesmas	Nenhuma	9	4	10	360	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar uma célula vertical que permita detetar o deslize da paleta</li> <li>Colocar superfície rugosa nos garfos</li> </ul>
Paletes	Transporte de cargas; otimização do espaço de transporte	Paletes partidas por baixo	Os garfos não conseguem retirar a totalidade da paleta ou a paleta é empurrada levando à queda da paleta; paragem parcial do armazém robotizado	Mau manuseio das mesmas e desgaste	Nenhuma	7	5	10	350	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar um scanner por baixo da paleta</li> <li>Monitorização visual das paletes</li> <li>Trocar paletes de madeira por paletes de plástico</li> </ul>
Software	Sequência de instruções a serem seguidas e/ou executadas. Na manipulação, redireccionamento ou modificação de um dado/informação ou acontecimento	Falhas de comunicação do sistema informático (entre o robot e o ISI)	Ordens perdidas no robot; encomendas de clientes por preparar; atrasos de fornecimento	Inversão da ordem do pedido ou corte de comunicação	Conferência de cais	8	9	5	360	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alterar processo de comunicação ISI- Robot</li> <li>Aquisição de um monitor para o escritório para controlar as ordens perdidas</li> </ul>



Analisando as tabelas 5.4 e 5.5, síntese das tabelas apresentadas nos anexos I e II, verifica-se que existe apenas um risco que foi considerado elevado para os dois métodos, esse risco encontra-se identificado pela cor vermelha.

A cor laranja representa os perigos que foram identificados por ambos os métodos mas que só foram considerados como um “risco elevado” por apenas um deles.

Os riscos que apresentam a cor amarelo representam os perigos que foram reconhecidos por apenas um dos métodos, neste caso só foram identificados riscos distintos pela metodologia análise de desvios.

Constata-se que, com alguma frequência, o método da Análise de Desvios, produz uma avaliação de risco tendencialmente mais elevado comparando com os resultados da metodologia FMECA.

Isto pode dever-se a dois fatores fundamentais: 1º) a subjetividade das escalas dos critérios aplicados às variáveis probabilidade e gravidade, que foram estabelecidas pela autora desta tese; 2º) a in experiência da analista (autora da dissertação), associada a uma grande tolerância ao risco por parte dos colaboradores do armazém. Por outro lado é possível que exista também alguma propensão para considerar mais grave os riscos que provocam lesões em pessoas, quando confrontados com perdas materiais

De uma forma ou de outra, a disparidade de resultados no nível de risco, vem evidenciar que estes métodos qualitativos têm sempre muita subjetividade e, por isso mesmo, devem ser usados vários métodos que se complementem. Por isso, na dúvida, a tabela 5.4 e 5.5 (síntese) integra os riscos elevados identificados em qualquer um dos métodos aplicados.

Iniciando a discussão pelos perigos identificados pelo método análise dos desvios, temos:

- Colisão dos empilhadores com quadro elétrico
- Paletes partidas por baixo
- Colisão dos empilhadores com plataforma de picking e zona de entrada e saídas de paletes
- Sistema obsoleto
- Falta de redundância dos operadores de manutenção/reparação do armazém robotizado
- Informação pouco acessível; manuais de instruções em castelhano

Esta classificação de risco elevado resultou de uma probabilidade e gravidade altas, onde foi utilizada a matriz criada pela autora desta tese.

O risco de colisão dos empilhadores com o quadro elétrico acontece porque este se encontra fisicamente desprotegido contra embates, como se pode ver pela figura 5.3.

A gravidade das consequências deste acontecimento é muito elevada, pois qualquer embate contra o quadro elétrico pode danificar seriamente os seus componentes, que são essenciais para o funcionamento do armazém robotizado. Portanto a consequência da colisão dos empilhadores com o quadro elétrico é a paragem total do armazém robotizado.

Como medida de prevenção foi sugerido o isolamento da área com uma estrutura de aço, fixado ao chão, que permitirá eliminar por completo a probabilidade deste risco se realizar.

O custo estimado para esta medida de melhoria foi de 1.590,00€, que inclui:

Fornecimento e montagem de uma divisória em rede com malha 5cm x 20 cm e altura de 2 metros;

- Fixar ao pavimento com buchas metálicas;
- Construção de uma porta de correr com 0,75m de altura;
- Pintura da base da estrutura com tinta de esmalte verde, levando faixas pretas e amarelas na zona detetáveis.

Continuando atuar na prevenção é essencial garantir a manutenção periódica dos empilhadores, tal como a formação e treino dos operadores que os conduzem.

Para chamar a atenção sobre a existência do quadro elétrico aos condutores dos empilhadores sugere-se a colocação de sinalização luminosa.



Fig. 5.3 Quadro elétrico

Os empilhadores são conduzidos por humanos e portanto existe sempre o risco de erros. Com a repetição das manobras do empilhador o operador terá maior probabilidade de errar o “*timing*” de paragem, pois não existe qualquer barreira física que impeça a colisão do empilhador com a plataforma e a zona de entradas e saídas de paletes.

Como consequência os empilhadores podem arrastar a cabeceira, danificando-a, o que levará à paragem parcial do armazém robotizado.

Para este risco é sugerido, para a zona de entradas e saídas de paletes, a colocação de uma barreira em borracha no piso (para não danificar as rodas do empilhador), com o objetivo de imobilizar empilhador antes que este chegue à estrutura.

Em virtude da configuração da zona de entradas e saídas de paletes (os terminais com correntes), é impossível colocar uma proteção de borracha nos seus perfis, como se pode ver pela figura 5.4.



Figura 5.4 Zona de entrada e saída de paletes

No caso da colisão dos empilhadores com a plataforma, estes para retirarem as paletes vazias ou as paletes “escravas”, necessitam de se aproximar da estrutura como se pode ver pela figura 5.5. Logo propôs-se a colocação de uma proteção em borracha na plataforma de maneira a amortecer o impacto da colisão. O orçamento para esta medida é apresentado na tabela 5.7.

Para este caso também foi pensado colocar as barreiras de borracha no piso, mas essa ideia foi descartada pois caso o empilhador transponha essa barreira, o perigo poderia ser ainda maior pois é nessa plataforma que se encontram os operadores de picking alocados ao armazém robotizado.

Outras medidas importantes serão a manutenção periódica dos empilhados e a formação e treino dos condutores.



Figura 5.5 Operação de picking

Tabela 5.6 Orçamento para colocação de borrachas de proteção

Art.	Designação dos trabalhos	Quant	Pr. unit	Pr. Totais
	Fornecimento e montagem de borrachas de proteção fixas aos perfis metálico UNO através de parafusos e anilhas, incluído furação prévia	97,7 ml	11,50€	1.123,55€
		Total...	1.123,55€	

O risco das paletes partidas por baixo, já referido nos riscos ocupacionais, também é uma problemática na vertente de risco de operação.

Como já explicado, devido às paletes se encontrarem danificadas, os garfos ao retirarem a paleta não conseguem extrair a totalidade da mesma ou empurram-na levando à sua queda ou à queda da paleta adjacente. Ao caírem estas podem embater nos transelevadores danificando-os.

Como consequência deste risco poderá ocorrer a paragem parcial do armazém robotizado. Analogamente, as medidas propostas são a colocação de um sistema de travamento em todos os corredores, de um *scanner* na zona de entrada de paletes, inspeção visual das paletes e troca das paletes de madeira por outras de plástico

Relativamente ao sistema obsoleto, este é o risco que mais preocupa a empresa como também é aquele mais difícil de resolver. O mesmo acontece devido à necessidade de ser feita uma grande mudança em todo o armazém robotizado e aos elevados custos que esta mudança acarreta.

O armazém robotizado foi construído em 1998, e tem sido mantido na sua versão original até aos dias de hoje e como tal o controlador lógico programável (PLC) e todos os componentes envolvidos encontram-se desatualizados. Em caso de avaria de algum componente, existe uma grande dificuldade em encontrar peças do mesmo modelo para substituir. Isto acontece devido à constante evolução tecnológica em que as peças vão sendo descontinuadas.

O grande problema consiste na impossibilidade de reaproveitamento dos equipamentos existentes caso o PLC seja substituído por um mais atualizado; ou seja, ao atualizar o PLC terá de se atualizar todos os componentes envolvidos (variadores, telémetros, Gateway de comunicação, *Encoders*, fotocélulas de comunicação, motorreductores, travões, etc).

A única solução será alterar todo o sistema. Como forma prevenção é sugerido que se faça um inventário de todos os *sparcs* existentes de forma a identificar os que estão obsoletos ou seja aqueles que a sua produção foi descontinuada.

A Falta de redundância dos operadores de manutenção do armazém robotizado é um risco considerado como elevado, porque caso o operador de manutenção não esteja presente, ao ocorrer alguma avaria, esta ausência poderá conduzir à paragem total do armazém robotizado.

Como não existe outro operador com a formação adequada para resolver essa avaria este poderá ficar parado por algum tempo.

Para este risco recomenda-se a contratação de operadores especializados ou a formação dos operadores já existentes no armazém. Em alternativa, poder-se-á pensar na subcontratação de um serviço de assistência próximo. Esta opção pode ser pouco prática pois teria de ser um serviço muito especializado, que não se encontra facilmente disponível no mercado nacional.

Os manuais de instruções do robot estarem em castelhano são um problema uma vez que existe dificuldade de compreensão e interpretação dos mesmos por parte do operador de manutenção.

Como referido no capítulo 4, a cada dois meses vem uma empresa externa de Espanha, a Mecalux, às instalações de Sintra fazer uma inspeção geral a todo o armazém robotizado. O que acontece é que o operador de manutenção cumpre erradamente as instruções dadas pela Mecalux pois não percebe espanhol.

A solução passa pela tradução dos manuais e das instruções feitas pela Mecalux para português.

Passando para os riscos identificados pelo método FMECA, tem-se:

- Avaria de carta eletrónica
- Erro de leitura das fotocélulas dos garfos
- Ordens perdidas no robot

Maioritariamente esta avaliação de “risco elevado” resultou de um índice de gravidade e deteção elevados mas um nível de ocorrência moderado, com exceção das ordens perdidas no robot que possui uma gravidade e um nível de ocorrência elevados e uma deteção moderada.

As cartas têm como função gerir e armazenar toda a informação relativa ao armazém robotizado. O grande problema da avaria de uma carta consiste na dificuldade de deteção dessa mesma avaria e da gravidade das suas consequências (paragem total do armazém robotizado). Posto isto, a carta é componente essencial para o funcionamento do armazém robotizado e por esse motivo este risco foi considerado como “elevado”.

A única medida de prevenção possível será ter sempre *spare*s disponíveis para substituição imediata.

No que respeita às fotocélulas dos garfos, estas fazem uma interpretação errada dos dados, ou seja não detetam que a paleta deslizou ou que a paleta não foi retirada na totalidade. Essa “má interpretação” tem como consequência a queda da paleta ou a colisão da paleta com a estrutura (*racks*), quando o transelavador se desloca.

O deslize da paleta sucede porque a paleta é mais leve e resvala nos garfos. Relativamente à paleta não ser retirada na totalidade, isto acontece porque as fotocélulas que estão nos garfos detetam irregularidades nas paletes e consideram que retiraram a paleta na totalidade.

Como medidas de prevenção sugere-se a colocação de uma célula vertical que permita detetar se a paleta não se encontra no local devido. Outra medida será colocar uma superfície rugosa

nos garfos o que fará diminuir a probabilidade da paleta deslizar. O custo estimado para esta melhoria foi de 492, 81€.

Através da recolha de informação efetuada, determinou-se que o risco de ordens perdidas no robot é um incidente que acontece com alguma regularidade. O problema assenta na dificuldade de controlo e comunicação dos dados ISI para o robot.

Como já referido, existe a passagem de dados do ISI para o sistema do robot mas o inverso não acontece. Consequentemente quando ocorre uma falha de comunicação entre o ISI e o robot, o robot não consegue transmitir o problema ao sistema ISI.

As causas desta falha são os cortes de comunicação entre os sistemas e a inversão do número da ordem de separação por parte do administrativo.

O robot prepara os pedidos por ordem numérica, quando ocorre a inversão dessa ordem um dos pedidos fica perdido; por exemplo o robot recebe o pedido 1001, mas este ainda está espera de receber o pedido 1000. Quando recebe o pedido 1000 faz a preparação dessa ordem, mas entretanto o pedido 1001 ficou perdido.

Esta falha só é detetada quando os carros estão a ser a carregados. Por isso recomenda-se que se coloque um monitor no escritório de forma a controlar as ordens perdidas no robot.

Outra medida de prevenção será alterar todo o processo de comunicação ISI-Robot.

Do ponto de vista da gestão geral deste sistema faz falta implementar um procedimento de registo de avarias e custos.

### **5.3 Síntese do capítulo**

Neste capítulo foram identificados e discutidos os riscos inerentes ao armazém robotizado, englobando os riscos ocupacionais e os riscos de operação.

Através da aplicação análise dos desvios foi possível identificar os riscos ocupacionais mais relevantes. Desta aplicação constatou-se que os riscos com maior perigosidade para os operadores são as paletes partidas por baixo e as falhas de formação em segurança.

Relativamente aos riscos de operação, estes foram identificados em resultado da aplicação de duas metodologias, Análise dos Desvios e FMECA.

Verificou-se que apenas o risco paletes partidas por baixo foi classificado como “elevado” pelos dois métodos aplicados.

Também foram apresentadas várias medidas de segurança para os diferentes riscos, incluindo medidas de prevenção e proteção, e pedido um orçamento de algumas das ações de melhoria propostas de modo analisar o seu custo-benefício.

#### **5.4 Limitações e Contribuições**

O desenvolvimento deste estudo encontrou diversas limitações. Em primeiro lugar destaca-se a falta de experiência prática neste domínio; a inexperiência da autora foi um dos maiores constrangimentos para identificação dos riscos ocupacionais e operacionais. Essa limitação foi, em certa forma colmatada com o envolvimento dos trabalhadores no armazém.

Também é importante evidenciar, a limitação do tempo disponível para observação da implementação de algumas das ações de melhoria propostas, para realização de uma nova análise e avaliação de riscos, de modo a verificar se as medidas de ação implementadas tiveram algum efeito sobre gravidade e probabilidade de ocorrência do risco.

Outra limitação residiu no fato de se tratar de um armazém robotizado e por isso não haver muitas pessoas com quem discutir sobre os riscos inerentes ao mesmo.

A falta de dados e informação sobre o histórico de avarias e acidentes na empresa também foi uma grande limitação; de certa forma tal impediu um diagnóstico e uma avaliação mais rigorosa dos riscos.

Como contributo deste estudo, evidencia-se, a realização de uma análise e avaliação de riscos operacionais e ocupacionais formal e estruturada, aplicada a todo o armazém robotizado; Esse conhecimento e a implementação de ações corretivas e preventivas deverá contribuir para a melhoria da segurança e operacionalidade da instalação.

## Capítulo 6 – Conclusões

Nesta dissertação foi estabelecido como objetivo a execução de uma análise e avaliação de riscos de um armazém robotizado.

Este trabalho surge como resposta a uma necessidade urgente na empresa, porque se o armazém robotizado parar irá provocar perdas económicas para a instituição tal facto advém da dificuldade de retirar o produto armazenado no mesmo.

Para cumprir o objetivo o estudo foi planeado em dois passos, o primeiro passo é mais dirigido ao risco ocupacional, onde se utilizou o método Análise dos Desvios, que é de “banda larga” e por isso permite uma cobertura mais alargada que inclui também alguns aspetos do risco de operação do equipamento robotizado. A segunda fase é focado no risco de operação com aplicação do método FMECA (*Failure Mode and Effects and Criticality Analysis*) especialmente apropriado para riscos “tecnológicos”.

No que respeita ao risco operacional, verificou-se que a aplicação dos dois métodos foi crucial, uma vez que estes se complementam. Essa conjugação dos métodos revelou-se essencial, porque se tivesse sido aplicado exclusivamente um dos métodos verificar-se-ia que determinados riscos poderiam não ter sido identificados.

Apesar da simplicidade na utilização dos métodos, estes requerem um conhecimento aprofundado das operações e equipamentos em estudo, para que seja possível a identificação de todos os perigos associados à instalação.

Através da aplicação do método Análise dos Desvios foi possível identificar e classificar os riscos em cinco níveis de risco (desde Muito Baixo a Muito Elevado). Os desvios encontrados (situações perigosas) que mais contribuíram para o risco ocupacional são por ordem de importância:

- **Risco médio:** Queda do operador de *picking* na zona da cabeceira e comportamentos inadequados
- **Risco elevado:** Queda do operador de manutenção na zona da cabeceira
- **Risco muito elevado:** Paletes partidas por baixo e falhas de formação em segurança

Para estes fatores de risco foram propostas ações de melhoria e alguns orçamentos das mesmas. Destaca-se por exemplo a necessidade de formação mais específica e “dirigida”, informando os trabalhadores para os riscos a que se expõem e sensibilizando para as medidas de proteção que devem adotar.

Relativamente aos riscos de operação, estes foram identificados em resultado da aplicação das duas metodologias, Análise dos Desvios e FMECA.

Verificou-se que apenas o caso das paletes partidas por baixo pode constituir um risco “elevado” nos dois métodos aplicados; tal facto vem reforçar a necessidade de aplicação de pelo menos duas técnicas diferentes.



A situação do sistema obsoleto (software do armazém) constitui um risco que mais preocupa a empresa porque pode provocar a paragem total do armazém robotizado, como também é aquela mais difícil de resolver. E como tal, este deverá ser considerado como prioritário.

Para a implementação de algumas das medidas de segurança é necessário uma análise custo-benefício. Para facilitar essa análise, foram pedidos orçamentos e o descritivo dos procedimentos necessários para algumas das ações de melhoria proposta de modo a verificar se compensa a relação custo-benefício. Como resultado deste exercício, chegou-se à conclusão, que algumas das recomendações sugeridas acarretam um investimento excessivamente avultado para o benefício que trazem.

## Referências

- Carmignani, Gionata (2009).** “An Integrated structural framework to cost-based FMECA: The priority-cost FMECA”. *Reliability Engineering and System Safety* 94 (2009) 861-871
- Dianous, V., & Fiévez, C. (2006).** ARAMIS project: A more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance. *Journal of Hazardous Materials*, volume 130, issue 3, pp 220-233.
- Ferry, Ted S (1988).** *Modern Accident Investigation and Analysis*. 2<sup>nd</sup> Edition, Jonh wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-62481
- Freija H. van Duijne, Dirk van Aken, Evert G.Schouten (2008).** Considerations in developing complete and quantified methods for risk assessment. *Safety science*, 46, pp 245-254
- Hammer, Willie (1989).** “Occupational Safety Management and Engineering”, 4th Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Harms-Ringdahl, L. (2001).** “Safety Analysis – Principles and Practice in Occupational Safety”, 2<sup>nd</sup> Edition. Taylor & Francis, London. ISBN: 0-415-23655-X
- Harms- Ringdahl, L. (2013).** Guide to safety analysis for accident prevention. IRS Riskhantering AB, Stockholm, Sweden
- Hollnagel, E. (2004).** Barriers and Accident Prevention. England: Ashgate Publishing Company.
- Hollnagel, E. (2008).** Risk + barriers = safety? *Safety Science* 46, 221–229.
- HSE-HSL. (2005).** *Review of Hazard identification techniques*. HSL/2005/58. Health and Safety Laboratory (HSL) of the Health and Safety Executive (HSE); Book, UK.
- Jacinto, C. e Silva, C. (2010).** A semi-quantitative assessment of occupational risks using bow-tie representation, *Safety Science*, 48(8), pp.973-979. Elsevier
- Khakzad, N., Faisal K., Paul A. (2012).** Dynamic risk analysis using bow-tie approach. *Reliability Engineering and System Safety*, 104, pp 36-44
- Kletz trevor A. (2001).** *Hazop and Hazard: Identifying assessing process industry hazards*. 4<sup>th</sup> Edition, Institution of chemical Engineers, UK
- Kumamoto, H. e Henley, E.J. (1996).** “Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists”, 2<sup>nd</sup> Edition, IEEE Press, New York
- Lopez, Fabio; Bartolo, Chiara ; Piazza, Tommaso; Passannanti; Gerlach, Jorg C.; Gridelli, Bruno; Triolo, Fabio. 2010.** “A Quality risk management Model Approach for Cell Therapy Manufacturing”. *Risk Analysis*, Vol. 30, No. 12, 2010, pp 1857- 1871
- Marhavilas, P.K, Koulouriortis, D., Gemeni V. (2011).** “Risk Analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009”. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24, pp 477-523

**Sklet, S. (2006).** Safety barriers: Definition, classification, and performance. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 19, pp 494-505

**Svenson, O. (1991).** The accident evolution and barrier function (AEB) model applied to incident analysis in the processing industries. *Risk Analysis*, 11(3), pp 499-507.

**Villemeur, A (1992).** “*Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment*”, Vol 1 & 2, John Wiley & Sons, New York

## **Legislação e Normas**

**BS 8800 (2004).** Guide to occupational health and safety management systems. British Standard Institutions, UK

**Decreto-lei nº 102/2009**, de 10 de Setembro de 2009. “**Regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho**” Imprensa Nacional Casa da Moeda. Diário da República, 1ª Série – nº 176, 10 de Setembro 2009.

**ISO 31000 (2009).** Risk management – principles and guidelines. ISO - Inter. Organization for Standardization. Geneva.

**ISO/IEC/FDIS 31010 (2009).** Risk management — Risk assessment Techniques. Draft edition. ISO International Organization for Standardization and IEC- International Electrotechnical Commission.

**Norma Portuguesa 4397:2008**, de 23 de Dezembro de 2008, relativa a sistemas de gestão da segurança e saúde do trabalho

**OHSAS 18001 (2007).** Occupational health and safety management- Requirements. British Standard Institutions (BSI) **Traduzido em Português pela NP 4397:2008.** “Sistemas de gestão da segurança e saúde do trabalho”, 2ª Ed. IPQ. Dezembro de 2008



## **Anexos**

**Anexo I-** Checklist para a Análise dos Desvios

**Anexo II-** Tabelas com os resultados da aplicação do método Análise dos Desvios

**Anexo III-** Tabelas com os resultados da aplicação da metodologia FMECA

## **Anexo I-** Checklist para a Análise dos Desvios

Tabela I.1- Checklist para a Análise dos Desvios (adaptado de Harms-Ringdahl, 2013)

<b>FUNÇÕES DO SISTEMA</b>	<b>DESVIO</b>
<b>Técnicas</b>	
T1- Função Geral	Apenas uma parte do sistema/equipamento está em funcionamento. Mau estado geral de manutenção. Paragem brusca. A ser usado para outro fim daquele para que foi concebido.
T2- Técnica – em equipamentos e ferramentas	Falha de um componente (avaria), não está disponível no local e momento apropriado, interrupção no abastecimento de energia
T3- Materiais/matérias-primas	Baixa qualidade, quantidades erradas, prazos de entrega falhados, mau estado da embalagem, rotulagem trocada
T4- Ambiente de trabalho	Lixo ou óleo no chão, iluminação insuficiente, excesso de ruído, mau tempo, ou outro contratempo provocado pela alteração do ambiente de trabalho
T5- Funções técnicas em dispositivos de segurança	Válvulas, protecções de máquinas e barreiras, sinais de aviso, interruptores ou sensores que: não funcionam, são inadequados, ou não existem
<b>Humanas</b>	
H1- Operação / movimento	Erro na execução ou movimento indevido (ex: força, distância, velocidade ou direcção erradas)
H2- Manobra / efectuar uma função	Lapso ou erro (erro de julgamento ou diagnóstico); exemplos: pressionar o botão errado, usar ferramenta errada, ler o manómetro errado
H3- Procedimento de trabalho	Efectuar sub-tarefas com sequência errada. Omissão (esquecimento) de um passo, sequência trocada, repetição, execução de um passo extra que não pertence à sequência normal
H4- Planeamento das tarefas	Escolha de soluções inadequadas, os procedimentos de segurança e os riscos não foram tidos em conta (ocorrência de violações)
H5- Resolução de problemas	Tentar resolver um problema através de uma alternativa perigosa e de risco. Incapacidade de tomar decisões em situação difícil
H6- Comunicação	Falhas de comunicação entre pessoas, ou entre pessoas e equipamentos (sistema homem-máquina). Interface inadequado. Erros no envio e recebimento de mensagens.
H7- Geral	Falta de experiência ou formação, capacidade pessoal inadequada (estado fisiológico ou mental), competência insuficiente (falta de conhecimentos adequados à tarefa), fadiga, falha de atenção, distração (a atenção é desviada por outra coisa externa à pessoa)
<b>Organizacionais &amp; Gestão</b>	
O1- Planeamento operacional	Inexistente, incompleto ou inadequado
O2- Gestão de recursos humanos	Pessoal inadequado, falta de capacidade física ou mental, pouca experiência, políticas de contratação sem critérios adequados
O3- Instruções de trabalho e informação	Inexistente ou inadequada (difícil de cumprir ou de perceber). Ausência de instruções e procedimentos de trabalho (mesmo que sejam verbais)

O4- Manutenção	Não cumprimento dos planos de manutenção, ou má gestão da manutenção
O5- Controlo e correcção	Insuficientes, inadequados. Inexistência de análise e avaliação de riscos, acidentes não são investigados, medidas de controlo não são implementadas
O6- Gestão da mudança	Mudanças drásticas (de gestão ou alteração de equipamentos) que não foram devidamente planeadas nem acompanhadas ou monitorizadas.
O7- Competição entre funções	Conflitos de interesses. Diferentes funções interferem umas com as outras (ex: aumento de produção em detrimento da segurança ou qualidade)
O8- Procedimentos de segurança	Inexistentes, inadequados aos riscos, mal concebidos, ignorados ou frequentemente violados. Não existência de um sistema de gestão de SHST, mesmo que seja "informal".



## **Anexo II-** Tabelas com os resultados da aplicação do método Análise dos Desvios

Tabela II.2- Análise dos Desvios (varrimento geral do risco ocupacional e riscos de operação)

Função	Perigo (desvio)	Descrição	Consequências	Nível de risco	Probabilidade	Gravidade	Barreiras
Técnica: Quadro elétrico	Colisão de empilhadores com quadro elétrico	Quadro elétrico fisicamente desprotegido contra embates	Paragem total do armazém robotizado	Elevado	2	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isolar área com estrutura de aço (rails) (já foi pedido orçamento indicativo)</li> <li>Manutenção dos empilhadores</li> <li>Formação e treino dos condutores</li> <li>Sinalização do quadro elétrico</li> <li>Treino de um socorrista</li> </ul>
			Contato direto ou indireto da pessoa com a corrente elétrica	Muito Baixo	MI	M	
	Avaria de uma carta (eletrónica)	As cartas são o elemento central da gestão de toda a informação. A avaria de uma carta pode provocar a paragem de uma parte significativa do sistema (e.g: transelevadores, cabeceira, etc)	Paragem parcial/ total do armazém robotizado	Médio	2	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possuir stock de cartas</li> </ul>
	Avaria de um contactor	A avaria de um contactor inibe o funcionamento da respetiva mesa (paragem desse sistema)	Paragem parcial da cabeceira	Baixo	1	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possuir stock de contactores</li> </ul>
Técnica: Cabeceira	Colisão dos empilhadores com zona lateral	Zona lateral da cabeceira desprotegida contra embates	Paragem parcial do armazém robotizado	Baixo	1	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isolar área com estrutura de aço (rails)</li> <li>Manutenção dos empilhadores</li> <li>Formação e treino dos condutores</li> </ul>

Função	Perigo (desvio)	Descrição	Consequências	Nível de risco	Probabilidade	Gravidade	Barreiras
Técnica: Cabeceira	Colisão de empilhadores com zona de entradas e saídas de paletes	Não existe qualquer proteção de embate accidental do empilhador	Paragem parcial do armazém robotizado	Elevado	3	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar uma proteção de borracha na plataforma</li> <li>Colocar barreira em borracha no piso que permita a paragem do empilhador antes de chegar à estrutura mas sem danificar as rodas do mesmo (entradas e saídas de paletes)</li> <li>Manutenção dos empilhadores</li> <li>Formação e treino dos condutores</li> </ul>
	Queda do operador de manutenção na zona da cabeceira	Sempre que o operador de manutenção tem de executar qualquer tarefa tem de cruzar a cabeceira sem qualquer tipo de passagem para o efeito	Acidente de trabalho; queda/esmagamento contra as mesas de roletes (h~1m)	Elevado	P	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Passadiço de metal que permita o acesso a qualquer parte do robot</li> <li>Calçado antiderrapantes</li> </ul>
	Queda do operador de picking na zona da cabeceira	Não há qualquer vedação entre a zona de picking e a cabeceira	Acidente de trabalho; queda/esmagamento contra as mesas de roletes (h~1m)	Médio	PP	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar uma divisão tubular em aço que no entanto permita o acesso do scanner à paleta (proteção anti-queda)</li> <li>Zona de picking com plataforma antiderrapante</li> <li>Utilização de botas antiderrapantes</li> </ul>
	Avaria de um motor	Avaria de qualquer um dos motores existentes na cabeceira	Paragem parcial da cabeceira	Baixo	1	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ter inventário das peças necessárias para reparação</li> <li>Manutenção</li> <li>Formação e treino do operador de manutenção</li> </ul>

Função	Perigo (desvio)	Descrição	Consequências	Nível de risco	Probabilidade	Gravidade	Barreiras
Técnica: Fotocélulas Cabeceira	Erro de leitura das fotocélulas	O erro de leitura ocorre devido à existência de plásticos ou outros componentes que se encontram fora dos limites de uma euro-paleta ou porque a lente se encontra suja; pode ocorrer leitura “falsa” antes da paleta estar devidamente localizada	Paragem da paleta; paleta descarrilar	Médio	3	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Supervisão da entrada das paletes na cabeceira (inspeção visual)</li> <li>Não deixar pontas soltas na colocação de filme retrátil nas paletes</li> <li>Limpeza semanal de toda a cabeceira</li> </ul>
	Desafinação da fotocélula	A paleta colide com as fotocélulas da cabeceira levando a desafinação das mesmas	Paragem parcial da cabeceira	Médio	3	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proteção metálica que permita manter a sua funcionalidade</li> <li>Colocar as fotocélulas a uma maior distância das mesas</li> <li>Formação e treino do operador de manutenção</li> <li>Manutenção/verificação regular</li> </ul>
Técnica: Garfos	Corrente dos garfos partirem	Devido ao uso, esta vai desgastando até partir	Paragem parcial do armazém robotizado	Médio	2	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manutenção preventiva</li> </ul>

Função	Perigo (desvio)	Descrição	Consequências	Nível de risco	Probabilidade	Gravidade	Barreiras
Técnica: Fotocélulas Garfos	Erro de leitura das fotocélulas	Ocorre uma interpretação errada dos dados; a fotocélula não se apercebe que a paleta deslizou ou seja que não está no local devido.	Queda da paleta; paragem parcial do armazém robotizado	Médio	3	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar uma célula vertical que permita detetar o deslizamento da paleta</li> <li>Colocar uma superfície rugosa nos garfos (já foi pedido orçamento indicativo)</li> </ul>
Técnica: Paletes	Paletes partidas por baixo	Os garfos do transelevador ao retirar a paleta bate contra a parte danificada da paleta empurrando-a e levando à queda da mesma ou da paleta adjacente Não conseguem sacar a totalidade da paleta	Queda da paleta; paragem parcial do armazém robotizado	Elevado	3	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar um scanner na zona de entrada de paletas</li> <li>Colocar um sistema de travamento em todos os corredores</li> <li>Substituir paletes de madeira por paletes de plástico</li> <li>Monitorização visual das paletes</li> </ul>
			Acidente de trabalho; esmagamento do operador pela paleta	Muito Elevado	PP	E	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isolar área do corredor 5 com estrutura de aço</li> </ul> <p>Obs.: O corredor 5 é o único onde existe circulação de pessoas</p>

Função	Perigo (desvio)	Descrição	Consequências	Nível de risco	Probabilidade	Gravidade	Barreiras
Técnica: Paletes	Existência de gálíbos	Qualquer galibo (plástico ou até própria mercadoria que se encontra fora dos limites de uma euro paleta é detetada pelas fotocélulas do transelevador, levando à paragem imediata do mesmo	Paragem parcial do armazém robotizado	Médio	3	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Supervisão da entrada das paletes na cabeceira (inspeção visual)</li> <li>Não deixar pontas soltas na colocação de filme retrátil nas paletes</li> </ul>
Técnica: Lentes de Comunicação	Desafinação das lentes de comunicação	As lentes de comunicação permite a comunicação dos transelevadores com a cabeceira; a colisão de uma paleta ou qualquer outro objeto com a lente de comunicação leva a desfinação da mesma.	Paragem parcial do armazém robotizado	Médio	3	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proteção metálica que permita manter a sua funcionalidade</li> </ul>
Técnica: Software	Ordens perdidas no robot	Dificuldade de controlo do envio dos dados do ISI para o robot	Atrasos no serviço e /ou erros de fornecimento	Médio	3	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alterar o processo de comunicação de dados ISI- Robot</li> <li>Aquisição de um monitor para o escritório para controlar as ordens perdidas</li> </ul>

Função	Perigo (desvio)	Descrição	Consequências	Nível de risco	Probabilidade	Gravidade	Barreiras
Técnica: Cabo de aço	Rompimento do cabo de aço	Com o desgaste ao longo do tempo o cabo pode romper	Queda do suporte de elevação. Paragem total do armazém robotizado	Médio	1	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manutenção preventiva</li> <li>Inspeções com registo obrigatório</li> </ul>
Técnica: Variador de translação e elevação	Avaria dos variadores de translação e elevação	Os variadores de translação e elevação permitem o movimento horizontal e vertical dos transelevadores respetivamente	Paragem parcial do armazém robotizado	Médio	1	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stock dos variadores</li> <li>Formação e treino do operário de manutenção em reparação dos variadores</li> </ul>
Técnica: Variador dos garfos	Avaria do variador dos garfos	Variador dos garfos permite o movimento dos garfos	Paragem parcial do armazém do armazém robotizado	Baixo	1	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stock dos variadores</li> <li>Formação e treino do operário de manutenção em reparação dos variadores</li> </ul>
Técnica: Fonte de alimentação	Avaria da fonte de alimentação	A fonte de alimentação fornece energia elétrica a todo o armazém robotizado	Paragem total do armazém robotizado	Médio	1	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aviso luminoso que permita identificar de imediato avaria da fonte de alimentação</li> <li>Formação e treino do operador de manutenção</li> </ul>

Função	Perigo (desvio)	Descrição	Risco	Nível de risco	Probabilidade	Gravidade	Barreiras
Técnica: Freno	Avaria do travão	Pode ocorrer avaria total do travão ou desgaste do mesmo	Paragem parcial/total do armazém robotizado Não travar no sítio correto; queda do suporte de elevação;	Médio	1	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stock dos frenos</li> <li>• Manutenção preventiva</li> <li>• Formação e treino do operador de manutenção</li> </ul>
Técnica: Fotocélulas transelevador	Erro na deteção da presença da paleta	Esta fotocélula tem a funcionalidade de detetar a presença da paleta no alvéolo; não deteta paleta devido ao filme retrátil ser de uma cor escura	Armazenamento de uma paleta onde já existe uma; queda da paleta	Médio	2	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trocar por fotocélulas que permitam ler cores escuras</li> <li>• Utilizar filme retrátil de cores claras</li> </ul>
Técnica: Sistema de controlo, elétrico mecânico	Sistema obsoleto	O controlador lógico programável e todos os componentes associados estão descontinuados e é difícil de encontrar spares	Paragem total do armazém robotizado	Elevado	3	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alterar todo o sistema</li> <li>• Inventariar todos os spares existentes e identificar os que estão obsoletos</li> </ul>
Humanas (tarefas de manutenção)	Erros humanos	Podendo ser erro de execução nas tarefas de manutenção ou de reparação. Erro de julgamento ou diagnóstico	Paragem parcial/total do armazém robotizado	Médio	1	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vigilância por parte de um superior</li> <li>• Formação e treino</li> </ul>



Função	Perigo (desvio)	Descrição	Consequências	Nível de risco	Probabilidade	Gravidade	Barreiras
Humanas (tarefas de manutenção)	Comportamentos inadequados	Ignorar regras de segurança existentes ex: não utilizar arnês anti queda nos trabalhos em altura	Acidente de trabalho; Quedas	Médio	PP	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vigilância por parte de um superior</li> <li>Formação e treino</li> </ul>
Organizacionais e Gestão	Falhas de Formação	Não existe formação específica em segurança para os técnicos de manutenção	Acidente de trabalho; múltiplos tipos de acidentes	Muito Elevado	P	E	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formação e treino sobre operação em segurança</li> </ul>
	Falta de redundância dos operadores de manutenção/reparação do armazém robotizado	Existe apenas um técnico com conhecimentos suficientes sobre o armazém robotizado	Paragem total do armazém robotizado	Elevado	3	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contratação de operadores especializados</li> <li>Serviço subcontratado</li> <li>Formação sobre operação</li> </ul>
	Informação pouco acessível; manuais de instruções em castelhano	Existe uma dificuldade de compreensão e interpretação dos manuais de operação do robot, uma vez que os mesmos estão em castelhano	Paragem parcial do armazém do armazém robotizado	Elevado	3	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tradução dos manuais de instruções em português</li> </ul>

## **Anexo III-** Tabelas com os resultados da aplicação da metodologia FMECA

Tabela II.2- Análise FMECA (apenas para risco de operação)

Nome do componente	Função(ões)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da falha	Causa potencial da falha	Deteção	G	O	D	NPR	Ações Recomendadas
Corrente dos Garfos telescópicos	Permite o funcionamento dos garfos; armazenar ou retirar as unidades de carga das prateleiras	Partir	Não retirar ou armazenar as paletes	Utilização diária, desgaste; falta de manutenção	Inspeção periódica dos garfos	5	2	7	70	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manutenção preventiva</li> <li>Formação e treino do operador de manutenção</li> </ul>
Cartas eletrónicas	Gerir e armazenar toda informação relativa ao armazém robotizado	Avaria de uma carta	Paragem total ou parcial do armazém robotizado	Fim de vida útil, picos de eletricidade	Nenhum	7	5	10	350	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possuir stock das cartas</li> </ul>
Contactador	Permite o funcionamento das mesas da cabeceira	Avaria de um contactor	Paragem parcial da mesa da cabeceira	Fim de vida útil	Mesas e respetivos contactores numerados	3	4	3	120	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possuir stock de contactores</li> </ul>

Nota: A deteção consiste em verificar se existe medida de controlo que permite detetar problema/avaría

Nome do componente	Função(ões)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da falha	Causa potencial da falha	Deteção	G	O	D	NPR	Ações Recomendadas
Fotocélulas da cabeceira	Ler e dar informação da localização da paleta no decorrer do seu caminho	Erro de leitura	Paragem da paleta; paleta descarrilar	Existência de plástico ou outros componentes que se encontram fora dos limites de uma euro-paleta ou sujidade da lente da fotocélula	Nenhuma	3	8	10	240	<ul style="list-style-type: none"> <li>Supervisão da entrada das paletes na cabeceira</li> <li>Não deixar pontas soltas na colocação de filme retrátil das paletes</li> <li>Limpeza semanal de de toda a cabeceira</li> </ul>
Fotocélulas dos garfos	Ler presença da paleta nos transelavadores	Interpretação errada dos dados	Queda da paleta; Não retirar a paleta na totalidade; Embate da paleta contra estrutura (racks)	Deslize da paleta devido ao peso ou Irregularidades nas mesmas	Nenhuma	9	4	10	360	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar uma célula vertical que permita detetar o deslize da paleta</li> <li>Colocar superfície rugosa nos garfos</li> </ul>
Paletes	Transporte de cargas; otimização do espaço de transporte	Paletes partidas por baixo	Os garfos não conseguem sacar a totalidade da paleta ou a paleta é empurrada levando à queda da paleta; paragem parcial do armazém robotizado	Mau manuseio das mesmas e desgaste	Nenhuma	9	7	10	630	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar um scanner na zona de entrada de paletes</li> <li>Colocar um sistema de travamento em todos os corredores</li> <li>Monitorização visual das paletes</li> <li>Trocar paletes de madeira por paletes de plástico</li> </ul>

Nome do componente	Função(ões)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da falha	Causa potencial da falha	Deteção	G	O	D	NPR	Ações Recomendadas
Software	Sequência de instruções a serem seguidas e/ou executadas, na manipulação, redireccionamento ou modificação de um dado/informação ou acontecimento	falhas de comunicação do sistema informático	Ordens perdidas no robot; encomendas de clientes por preparar; atrasos de fornecimento	Inversão da ordem do pedido ou corte de comunicação	Conferência de cais	8	9	5	360	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alterar processo de comunicação ISI- Robot</li> <li>Aquisição de um monitor para o escritório para controlar as ordens perdidas</li> </ul>
Tambor de enrolamento do cabo de aço	Mover o suporte de elevação	Rompimento do cabo de aço	Queda do suporte de elevação; paragem total do armazém robotizado	Desgaste	Inspeção a cada 2 meses	10	1	1	10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manutenção mais preventiva (manter nível atual)</li> </ul>
Variador de translação, elevação	Translação-movimento horizontal do transelevador; Elevação-Movimento vertical do transelevador;	Avaria	Paragem parcial do armazém robotizado	Fim de vida útil	Nenhuma	7	2	10	140	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possuir stock dos variadores</li> <li>Formação e treino do operador de manutenção</li> </ul>

Nome do componente	Função(ões)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da falha	Causa potencial da falha	Deteção	G	O	D	NPR	Ações Recomendadas
Variador dos garfos	Permite o movimento dos garfos	Avaria	Paragem parcial do armazém robotizado	Fim de vida útil	Nenhuma	7	2	10	140	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possuir stock dos variadores</li> <li>• Formação e treino do operador de manutenção</li> </ul>
Lentes de comunicação	Fazer a comunicação entre o transelevador e a cabeceira	Desafinar	Paragem parcial do armazém robotizado	Colisão das paletes com as lentes	Nenhuma	2	9	10	180	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteção metálica que permita manter a sua funcionalidade</li> </ul>
Freno	Travão dos transelavadores	Descair com peso da paleta		Desgaste e fim de vida útil	Manutenção	10	2	2	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ter stock de freios</li> <li>• Formação e treino do operário de manutenção</li> </ul>
Fotocélulas transelevador	Deteta presença das paletes nas racks	Não detetar presença da paleta	Arrumar uma paleta onde já existe uma. Queda da paleta	As fotocélulas não leem cores escuras	Nenhuma	7	2	10	140	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar filme retrátil de cores claras</li> <li>• Trocar por fotocélulas que permitam ler cores escuras</li> </ul>
Fonte de alimentação	Fornecer energia elétrica aos vários componentes do armazém robotizado	Avaria	Paragem total do armazém robotizado	Fim de vida útil	Nenhuma	10	1	10	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ter stock de variadores</li> <li>• Formação e treino do operário de manutenção</li> </ul>

Nome do componente	Função(ões)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da falha	Causa potencial da falha	Deteção	G	O	D	NPR	Ações Recomendadas
Motores da cabeceira	Converter a energia eléctrica em energia mecânica, de forma a fazer movimentar	Avaria	Paragem parcial da cabeceira	Fim de vida útil, entrada de pó para o motor devido ao constante desgaste das paletes	Nenhuma	9	1	10	90	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ter stock dos motores</li> <li>• Trocar paletes de madeira por paletes de plástico</li> <li>• Formação e treino do operário de manutenção</li> <li>• Limpeza semanal da cabeceira</li> </ul>